



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y
Geográfica
Unidad de Posgrado

**“Estratigrafía de secuencias en rocas del Pérmico
aplicada a la exploración hidrocarburífera en las
cuencas del sur oriente peruano”**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Geología con
mención en Tectónica y Geología Regional

AUTOR

Eloy Gerardo POZO CALLE

ASESOR

Mg. Hugo RIVERA MANTILLA

Lima, Perú

2019



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Pozo, E. (2019). *Estratigrafía de secuencias en rocas del Pérmico aplicada a la exploración hidrocarburífera en las cuencas del sur oriente peruano*. Tesis para optar grado de Magíster en Geología con mención en Tectónica y Geología Regional. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

CODIGO ORCID DEL AUTOR:

CODIGO ORCID DEL ASESOR: 0000-0003-3623-8582

DNI: 03822509

GRUPO DE INVESTIGACIÓN:

INSTITUCIÓN QUE FINANCIA PARCIAL O TOTALMENTE LA INVESTIGACIÓN:

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DONDE SE DESARROLLÓ LA INVESTIGACIÓN. DEBE INCLUIR LOCALIDADES Y COORDENADAS GEOGRÁFICAS.

Cuencas de Ucayali (7° – 11° S y 76° - 74° O) y Madre de Dios (11° -15 S y 74° - 66° O)

AÑO O RANGO DE AÑOS QUE LA INVESTIGACIÓN ABARCÓ:
2012 - 2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

UNIDAD DE POSGRADO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima, a los tres días del mes de diciembre del 2019, siendo las 15:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 763/UPG-FIGMMG/2019 del 22 de octubre del 2019, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

«ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS EN ROCAS DEL PÉRMICO APLICADA A LA EXPLORACIÓN HIDROCARBURÍFERA EN LAS CUENCAS DEL SUR ORIENTE PERUANO»

Que, presenta el Bach. **ELOY GERARDO POZO CALLE**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GEOLOGÍA CON MENCIÓN EN TECTÓNICA Y GEOLOGÍA REGIONAL**.

El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° 05134-FIGMMG-2015 del 20 de julio del 2015, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

Luego de la Sustentación y la calificación de la Tesis se realizará de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente en conformidad al Art. 100 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

Bueno (16)

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GEOLOGÍA CON MENCIÓN EN TECTÓNICA Y GEOLOGÍA REGIONAL** al Bach. **ELOY GERARDO POZO CALLE**.

Siendo las 16:00 horas, se dio por concluido al acto académico.

MG. MARCO ANTONIO VÁSQUEZ FLORES

Presidente

DR. ALDO ALFONSO ALVÁN DE LA CRUZ

Secretario

MG. JESÚS ALBERTO TORRES GUERRA

Miembro

MG. HUGO RIVERA MANTILLA

Asesor

I. DEDICATORIA

A mí esposa Isabel y mis hijos Gerardo y Lorena, los amo, todo esfuerzo es bien recompensado es el mensaje que les dejo.

A nuestra Universidad Nacional Mayor de San Marcos y toda su comunidad educativa, en especial a los profesores de posgrado por su apertura en compartir conocimiento.

II. AGRADECIMIENTOS

A mí esposa Isabel y mis hijos Gerardo y Lorena, por su apoyo, aliento y paciencia en todo momento durante los dos años de estudio.

A todos los profesores de Posgrado de la facultad de FIGMMG, en especial al profesor Mg. Hugo Rivera por su gran dedicación y aliento para llegar a los objetivos planteados.

A mis amigos y colegas con quienes emprendimos este objetivo y los aliento a continuar hasta el logro final.

III. RESUMEN

En el Sureste del Perú se encuentran las cuencas subandinas de Madre de Dios y Ucayali que se extienden desde el contrafuerte andino hasta las llanuras de la selva amazónica, terminando en el cratón Brasileño.

Ambas cuencas han probado la presencia de sistemas de hidrocarburos y la producción comercial, principalmente en rocas silicoclásticas. Solo se reporta hidrocarburo comercial (gas y condensados) en el Grupo Copacabana en el yacimiento de Mipaya del lote 56.

La presencia de rocas carbonáticas de los Grupos Tarma y Copacabana con más de 1000 metros de espesor, la producción mundial de hidrocarburos que en más del 60% provienen de estas rocas, los escasos estudios que tratan sobre el origen y entendimientos de los ambientes de depositación de carbonatos han alentado la realización del presente estudio que ha aplicado la técnica moderna de estratigrafía de Secuencias que organizan las rocas desde su genética y depositación en sistemas encadenados y secuencias, para un mejor entendimiento y búsqueda de nuevas oportunidades exploratorias por hidrocarburos.

Los estudios se hicieron sobre afloramientos y núcleos de las rocas de Copacabana – Tarma aplicando la metodología de estratigrafía de secuencias para la definición de las facies sedimentarias y sus asociaciones para la determinación de los ambientes sedimentarios, la información fue llevada a subsuelo mediante pozos perforados aplicando la integración roca – perfil, se han definido cuatro secuencias estratigráficas de tercer orden con sus respectivas superficies llave.

Logrando la nueva organización de las rocas de Tarma – Copacabana y su aplicación en exploración de hidrocarburos, nuevos tipos de trampas de hidrocarburos, entendimiento de los comportamientos productivos y la extensión de los estudios de estas rocas a otras cuencas sedimentarias y rocas carbonáticas, considerando que es una técnica de aplicación sin restricciones a ser aplicada.

IV. ABSTRACT

In the Southeast of Peru there are the sub-andian basins of Madre de Dios and Ucayali that extend from the eastern edge of the Andean to the plains of the Amazon rainforest, ending in the Brazilian craton.

Both basins have tested the presence of hydrocarbon systems and commercial production, mainly in silicoclastic rocks. Only commercial hydrocarbon (gas and condensates) is reported in the Copacabana Group in the Mipaya reservoir of block 56 in Camisea area.

The presence of carbonaceous rocks of the Tarma and Copacabana Groups with more than 1000 meters thick, the global production of hydrocarbons that in more than 60% come from these rocks, the few studies that deal with the origin and understandings of the deposition environments Carbonates have encouraged the completion of the present study that has applied the modern technique of stratigraphy of Sequences that organize the rocks from their genetics and deposition in chained systems and sequences, for a better understanding and search for new hydrocarbon exploration opportunities.

The studies were done on outcrops and cores of the Copacabana - Tarma rocks applying the sequence stratigraphy methodology for the definition of sedimentary facies and their associations for the determination of sedimentary environments, the information was taken underground by drilling wells applying the rock - log integration, four third order stratigraphic sequences have been defined with their respective key surfaces.

Achieving the new organization of the rocks of Tarma - Copacabana and its application in hydrocarbon exploration, new types of hydrocarbon traps, understanding of the productive behaviors and the extension of the studies of these rocks to other sedimentary basins and carbonate rocks, considering that It is an application technique without restrictions to be applied.

ÍNDICE

ACTA DE SUSTENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Situación Problemática	1
1.2 Problema de Investigación	2
1.2.1 Problema General	2
1.2.2 Problemas Específicos	2
1.3 Justificación de la Investigación	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
CAPITULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Antecedentes del Problema.....	4
2.2 Bases Teóricas	5
2.2.1 Definición.....	5
2.2.2 Fábrica de las rocas carbonáticas	5
2.2.3 Rocas clásticas terrígenas versus rocas carbonáticas	7
2.2.4 Factores que controlan la deposición carbonática.....	8
2.2.4.1 Factores oceanográficos.	8
2.2.4.2 Factores Biogénicos.....	11
2.2.4.3 Factores Tectónico y Climático.	12

2.2.5 Principales constituyentes de las Rocas Carbonáticas	12
2.2.5.1 Los Componentes Ortoquímicos.....	12
2.2.5.2 Los Componentes Alquímicos.....	13
2.2.6 Clasificación de las Rocas Carbonáticas.....	21
2.2.6.1 Carbonáticas Autóctonas	21
2.2.6.2 Carbonáticas Alóctonas	21
2.2.6.3 Clasificación Petrográfica de Folk.....	21
2.2.6.4 Clasificación Petrográfica de Dunham	24
2.2.6.5 Clasificación de Embry y Klován	27
2.2.7 Ambientes Sedimentarios.....	36
2.2.7.1 Estructuras Sedimentarias	36
2.2.7.2 Geometría de los depósitos Carbonáticos	37
2.2.7.3 Principios de Generación.....	37
2.2.7.4 Geometrías de los depósitos carbonáticos:	38
2.2.7.5 Clasificación de Rampas y Plataformas	39
2.2.7.6 Tipos de estructuras o construcciones Carbonáticas.....	42
2.2.7.7 Depósitos de los carbonatos	43
2.2.7.8 Descripción de partes de la plataforma carbonática trópic (T)	43
2.2.8 Estratigrafía de Secuencias.....	48
2.2.8.1 Historia.....	48
2.2.8.2 Conceptos	48
2.2.8.3 ¿Qué es una Secuencia?.....	53
2.2.8.4 Autogénesis X Alogénesis.....	56
2.2.8.5 Tipos y Definiciones de Secuencias.....	57
2.2.8.6 Sistemas encadenados depositacionales	59
2.2.9 Potencial de Crecimiento de los Sistemas Carbonáticos	66

2.2.9.1 Conceptos	66
2.2.9.2 Morfología de Rampas y Plataformas Carbonáticas y Distribución de Facies Sedimentarias	67
2.2.10 Estratigrafía de Secuencias en Rocas Carbonatadas	70
2.2.10.1 Variaciones del Nivel del Mar	70
2.2.11 Cambios del Nivel del Mar y La Estratigrafía de Secuencias ...	76
2.3 Glosario de Términos	80
CAPITULO III	89
HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	89
3.1 Hipótesis General	89
3.2 Hipótesis Específicas.....	89
3.3 Identificación de Variables	89
3.4 Indicadores de Variables:	89
3.5 Matriz De Consistencia.....	90
CAPITULO IV	91
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	91
4.1 Tipo y Diseño de la Investigación	91
4.2 Método Analítico Inductivo.....	91
4.3 Etapas de Estudio.....	92
4.4 Unidad de Análisis	93
4.5 Población de Estudio	94
4.6 Tamaño de la Muestra.....	98
4.7 Selección de la Muestra	98
4.8 Técnicas de Recolección de Datos.....	98
4.9 Análisis e Interpretación de la Información	99
CAPITULO V	100
RESULTADOS Y ANÁLISIS	100

5.1 Geología General de las Unidades Pérmicas – Carboníferas	100
5.1.1 Geología Histórica de las Unidades Tarma – Copacabana	100
5.1.2 Litoestratigrafía de las Unidades Tarma – Copacabana.....	102
5.1.3 Paleogeografía del Carbonífero superior – Pérmico inferior.....	102
5.1.4 Paleontología de Afloramientos.....	104
5.1.5 Bioestratigrafía – Cronoestratigrafía.....	118
5.2 Metodología de Análisis de Estratigrafía de Secuencias en Tercer Orden.....	119
5.2.1 Metodología de Campo	120
5.2.2 Metodología del Subsuelo.	121
5.2.2.1 Facies Sedimentarias Descritas en Afloramientos	122
5.2.2.2 Asociación de Facies Sedimentarias	136
5.2.2.3 Elementos Arquitecturales – Subambientes.....	137
5.2.2.4 Sistema Depositacional Encadenado.....	141
5.2.2.5 Secuencia Estratigráficas.....	145
5.2.3 Correlación Regional de Estratigráfica de Secuencia.....	162
5.2.3.1 Sección Estratigráfica A-B.....	163
5.2.3.2 Secciones Estratigráficas, B – C	167
5.2.3.3 Secciones Estratigráficas, C – D.....	170
5.2.3.4 Secciones Estratigráficas D – E	173
5.2.3.5 Mapas isópacos de distribución de Sistemas Encadenados	176
5.2.4 Correlación Sísmica – Estratigrafía de Secuencias.....	180
5.2.5 Integración Sísmica – Perfiles - Estratigrafía de Secuencias ...	184
5.3 Prueba de Hipótesis	185
5.3.1 La prueba de la hipótesis general:.....	185
5.3.2 Hipótesis Específicas:	186

CAPITULO VI	188
CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES.....	188
CONCLUSIONES	188
RECOMENDACIONES.....	189
CAPITULO VII	191
BIBLIOGRAFÍA.....	191

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Problemática

El problema de la presente investigación se basa en que el consumo de energía mundial en la actualidad alcanza el 80% proveniente de los combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas natural, la demanda de energía a nivel nacional e internacional va en aumento y los descubrimientos de nuevas reservas de hidrocarburos han disminuido severamente. [Agencia Internacional de la Energía, \(WEO 2013\)](#).

Las rocas carbonáticas a nivel mundial contienen más del 60% de las reservas de petróleo y el 40% de las reservas de gas. Es importante resaltar que los sistemas carbonáticos cumplen con todos los requisitos para ser sistemas petrolíferos únicos: Roca Madre, Roca Reservorio y Roca Sello, así mismo tienen una alta complejidad sedimentaria y difieren en sus orígenes y depositación de las rocas siliciclásticas. ([Schlumberger, 2001](#)).

En el Perú estas rocas están aún poco exploradas, El caso de estudio en esta tesis son los Grupos Tarma y Copacabana de edad Pérmico los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en las cuencas sedimentarias Paleozoicas del Sur Oriente peruano y recientemente han probado producción comercial de gas y condensado en el área de Camisea, precisamente en la estructura Mipaya. ([Navarro, 2014](#)).

Los mapas geológicos regionales de INGEMMET locales y las columnas estratigráficas, ([Zarate, Galdós, Geldres, 1998](#)) describen diversas formaciones originadas en sistemas depositacionales de rocas carbonáticas de edades que van desde el Carbonífero hasta el Cretáceo y que han sido clasificadas y estudiadas desde el punto de vista litoestratigráfico. ([Zarate, Galdós, Geldres, 1998](#)), sin embargo para generar un modelo coherente y predictivo para la exploración y desarrollo de las rocas carbonáticas por hidrocarburos se requiere de nuevos conocimientos, técnicas y metodología. Para ello esta investigación se abocara a analizar estas unidades

litoestratigráficas desde la visión de la Estratigrafía de Secuencias el cual es un conocimiento y metodología de estudio de avanzada que se viene aplicando en el mundo para generar nuevos modelos estratigráficos que servirán para definir:

- Nuevos conceptos (playas) exploratorios.
- Para la definición y localización de trampas estratigráficas.
- Construir un armazón predictivo que asocie las rocas generadoras, sello y reservorio.
- En alta resolución los hidrocarburos no vistos en la etapa de desarrollo.

1.2 Problema de Investigación

1.2.1 Problema General

¿Cómo la Estratigrafía de Secuencias aplicada a las rocas carbonáticas del Pérmico ayudará a la exploración por hidrocarburos en las cuencas del Sur Oriente del Perú?

1.2.2 Problemas Específicos

¿Es la Estratigrafía de Secuencias una mejor alternativa a la Litoestratigrafía en la exploración de trampas estratigráficas en rocas carbonáticas?

¿De qué manera la determinación de las secuencias estratigráficas contribuye a la integración de las rocas generadoras, sello y reservorio?

¿Cómo se integra la Sedimentología a la Estratigrafía de Secuencias para la construcción del modelo geológico - estratigráfico predictivo para la exploración por hidrocarburos?

1.3 Justificación de la Investigación

La investigación se justifica en tres aspectos fundamentales que son:

- La necesidad de explorar formaciones carbonatadas de otras edades geológicas, que de acuerdo al modelo a definir nos permita determinar las características obtenidas por la estratigrafía secuencial para explorar nuevas reservas de hidrocarburos en el Perú.
- Aplicar nuevos conceptos, técnicas y metodologías que enriquezcan a las tradicionales técnicas de búsqueda de trampas estructurales añadiendo a la exploración las trampas estratigráficas – diagenéticas.

- Difundir nuevos conocimientos y aportes para organizar las rocas en secuencias basadas en sistemas depositacionales encadenados que permiten elaborar modelos estratigráficos predictivos para la exploración de los hidrocarburos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Construir un modelo geológico basado en la Estratigrafía Secuencial, para la exploración por hidrocarburos, en búsqueda de nuevas fronteras en reservorios complejos aún inexplorados en el país.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar o redefinir facies sedimentarias y ambientes depositacionales.
- Aplicar la Estratigrafía sustentada en las variaciones del nivel de base y la naturaleza cíclica de las rocas en el tiempo.
- Desarrollar la sistemática de Estratigrafía de Secuencias, para la subdivisión del relleno sedimentario en Secuencias de tercer orden genéticamente relacionadas y limitadas por superficies llave.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Problema

El presente estudio trata de la aplicación de la Estratigrafía de Secuencias en la determinación de secuencias genéticas de tercer orden. Esta se aplica en las rocas carbonáticas del Pérmico de las cuencas sedimentarias del Sur Oriente peruano y se aplica en la exploración por hidrocarburos, tiene el carácter de sui-generis no existiendo estudios y trabajos de este tipo en el país.

Estudios previos realizados en rocas carbonáticas y consultados provienen de países tales como Brasil, Argentina, Bolivia, Estados Unidos, Polonia, Inglaterra, Emiratos Árabes, Arabia Saudita, en donde se han tenido descubrimientos de hidrocarburos en rocas carbonáticas como el “Presal” Brasil, (ANP, 2015). Mejoramiento de la producción en la Formación Eagle Ford en Estados Unidos, (Howard, 2015).

Las tesis y artículos que han servido de fuente de consulta debido que han realizado estudios geológicos en rocas carbonáticas, se referencian a continuación.

- La Caracterización Estratigráfica en alta resolución de las Secuencias Carbonáticas de origen microbial de la Formación Yacoraite, intervalo Paleoceno, en la región de Salta – Argentina, donde se presentó el modelo predictivo comprobado para los reservorios del Pre –Sal Brasileiro. (Bento Freire, 2012).
- Secuencias Carbonáticas – Silicoclásticas del Pensilvaniano y Pérmico de La Formación Copacabana, Grupo Titicaca, Andes de Bolivia. George (Wilson, 2003).

Respecto a la Estratigrafía de Secuencias, su Metodología y Nomenclatura, conocemos que internamente se desarrolla los casos de estudios en diferentes tipos de ambientes carbonaticos, carbonaticos – evaporiticos y carbonaticos – clástico, donde se toma los siguientes puntos con mayor énfasis:

- Estudio del Jurásico temprano (Kimmerigian) correlación de plataforma a cuenca, Montañas Jura (Suiza – Francia), (Catuneanu et al, 2011).
- Estudio del Cretáceo Medio, Plataforma Carbonática en Cuenca Maestrat, Iberia Chain. (Catuneanu, et al. 2011).
- Estudio del Permiano Superior, sucesión carbonática – evaporítica (Zechstein) Nor Oeste de Europa. (Catuneanu, et al. 2011).
- Estudio de las Secuencias mixtas carbonáticas – clásticas, Carbonífero Medio, Norte de Inglaterra. (Catuneanu, et al. 2011).
- Procesos de Precipitación de Carbonatos en microbiales modernos. (Dupraz, 2008).
- Carbonífero Superior a Pérmico Inferior Secuencias Transgresivas – Regresivas de central Spitsbergen, Ártico, Noruega. (Samuelsberg, 1999).
- Asociación de Microfacies en Carbonatos Asbian: Un ejemplo de la Formación Urswick Distrito Lake, Norte de Inglaterra. (Horbury, 1996).
- Evolución estratigráfica secuencial y tipos de plataformas de carbonatos del intervalo Oxfordiense-Berriensiense en las cordilleras ibérica oriental y costero catalana meridional. (Salas, 1989).
- Facies Carbonatadas en el Ordoviciano del Norte de Arkansas, Estados Unidos, (Young, 1972).

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Definición

Las rocas carbonatadas están conformadas mayormente por carbonatos que son sales de ácido carbónico (H_2CO_3) constituidas principalmente por minerales de calcita (CaCO_3), dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, y otros como siderita $\text{Fe}(\text{CO}_3)$, (Folk 1952).

2.2.2 Fábrica de las rocas carbonáticas

Las rocas sedimentarias carbonáticas mayormente tienen origen orgánico, Cerca del 95% de las rocas mencionadas son marinas, los de origen continental son los lacustres y los originados en fuentes termales

(travertinos). (Terra, 2001) y representan una menor proporción de ocurrencia.

El origen y orden de los componentes de un carbonato se le denomina fábrica es así que el control biótico domina el origen de los carbonatos en aguas tropicales denominada fábrica tipo **T**, a partir de organismos autotróficos (generando su propio material a través de la fotosíntesis especialmente en la algas) u organismos heterotróficos con simbiosis de organismos autotróficos (ejemplo los corales) y también precipitados inorgánicos ooides y lodo calcáreo.

El origen de los carbonatos en aguas frías denominada fábrica tipo **C** es dominada por organismos heterotróficos.

En océanos modernos, la producción de carbonatos es de origen biótico inducido se denomina fábrica tipo **M**, son de baja a poca profundidad, así mismo los lodos carbonáticos también son de origen biótico inducido, de precipitación y mayormente microbial micrítica. (Schlager, 2005), (Figura 1).

El origen pelágico es dominado por fragmentos esqueléticos, granos de cocolitos y foraminíferos.

El origen en los lagos, es dominado (principalmente por moluscos), microbiales carbonáticos, lodos y ooides.

Producción carbonatos de otro origen en gran medida son independientes de la luz, las ventanas de profundidad se extienden por cientos de metros y sus límites inferiores son poco conocidos. (Schlager, 2005).

A continuación se listan características propias de las rocas carbonáticas:

- Principalmente son rocas de origen marino.
- Tienen poco o ninguna influencia terrígena.
- Rocas autóctonas (formadas en la propia cuenca).
- Rocas de precipitación bioquímica.
- Composición variable con el tiempo geológico.
- Fuertemente afectadas por la diagénesis.

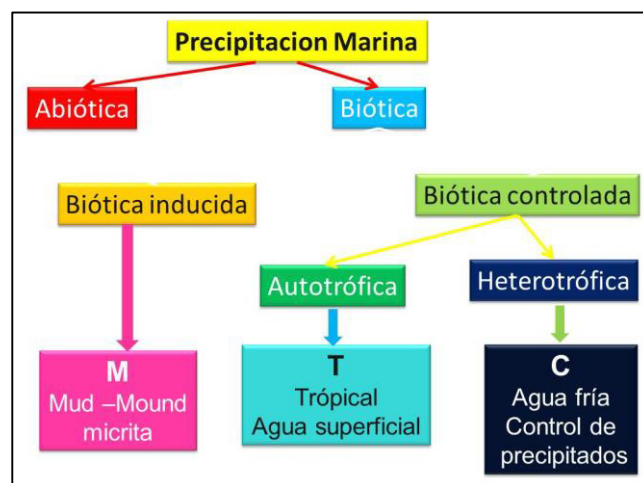


Figura 1, Fábrica de los Carbonatos. (Schlager, 2005).

2.2.3 Rocas clásticas terrígenas versus rocas carbonáticas

Es importante realizar la comparación para encontrar las diferencias y conceptualizar el conocimiento con las rocas carbonáticas.

Las rocas siliciclásticas son originadas por procesos de intemperismo, erosión y transporte por medios acuáticos, viento o gravedad hasta llegar a la cuenca donde se depositan los sedimentos, se litifican y diagenizan generándose las rocas sedimentarias.

Rocas clásticas terrígenas

- El clima no constituye restricción, los sedimentos se generan en todos los ambientes sedimentarios
- Los sedimentos tienen origen tanto marino como continental.
- El tamaño de los granos refleja la energía hidráulica del ambiente.
- Los sedimentos del tamaño de arcilla indican deposición por suspensión.
- Las olas y las corrientes forman cuerpos de arenas en aguas someras.
- Cambios ambientales son provocados por grandes variaciones en el régimen hidráulico.
- Los sedimentos están inconsolidados en el ambiente depositacional.
- La exposición periódica no altera los sedimentos.
- La ley de Walther se aplica a la mayoría de los depósitos.
- La composición de los sedimentos terrígenos son independientes del periodo geológico en la cual se formaron.

- La composición mineral de los sedimentos puede reflejar el origen y movimiento de los mismos.

Rocas carbonáticas

- La mayoría de las partículas carbonatadas ocurren en ambientes subacuáticos
- Las partículas en su mayoría son marinos.
- El tamaño de los granos refleja el tamaño de los esqueletos y de los granos precipitados.
- Los sedimentos tamaño de arcilla indican comúnmente el crecimiento prolífico de organismos productores de pequeños cristales
- Muchos cuerpos de arena carbonática se forman por producciones locales biológicas o fisicoquímicas de carbonatos.
- Cambios ambientales pueden ser inducidos por crecimientos locales de carbonatos, sin cambios en el régimen hidráulico.
- Las partículas carbonatadas son comúnmente cementados en el ambiente marino.
- La exposición periódica resulta en intensa diagénesis.
- La ley de Walther se aplica en muchos depósitos carbonatados, más no a todos.
- Los sedimentos carbonáticos son influenciados en su composición por el periodo geológico en la cual se formaron.

2.2.4 Factores que controlan la depositación carbonática

2.2.4.1 Factores oceanográficos.

Las rocas carbonáticas son esencialmente orgánicas y su crecimiento y producción están íntimamente relacionados con los ambientes oceánicos en los cuales la luz y la temperatura de las aguas, así como la distribución de los nutrientes son los principales factores controladores (Figura 2.2). (Schlager, 2005).

- La intensidad y penetración de la luz disminuye exponencialmente con la profundidad y afecta la fotosíntesis de los organismos (algas), por ejemplo Corales, foraminíferos, bivalvos grandes (ej. rudistas)

- En la zona somera entre 10 y 20m de profundidad de saturación de luz, esta no es un factor limitante del crecimiento, en cuanto que abajo de esta profundidad la luz es un factor dominante.
- La base de la zona eufótica ha sido definida como el nivel donde ocurre la producción de oxígeno para la realización de la fotosíntesis y donde el consumo de oxígeno para la respiración está en equilibrio. En el registro geológico, todos los ambientes con crecimiento de organismos fotosintéticos, como las algas verdes y los corales son considerados eufóticos. Los carbonatos depositados en bajas latitudes, es decir en la base de la zona eufótica, se encuentra normalmente entre 50 y 120m.
- Los organismos dependientes de la luz, (fábrica T, Figura 2), ocurren con altas tasas de producción, y en un rango de profundidad muy somera. La producción de otros orígenes no son dependientes de la luz y las ventanas de profundidad son de cientos de metros siendo sus límites inferiores poco conocidos.

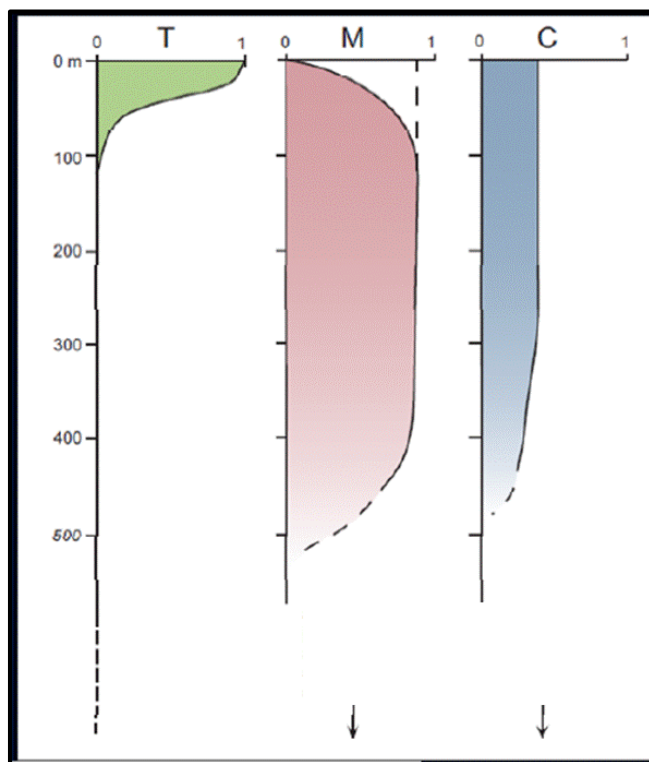


Figura 2, Distribución de organismos con la profundidad versus tipo de fábrica. (Schlager, 2005).

La Temperatura es el segundo factor más importante en el control de la deposición carbonática. En general cuanto más tibia es el agua, más favorables son las condiciones para la deposición carbonática.

El efecto más importante es la zonación global de los depósitos carbonáticos por la latitud. El límite de los carbonatos tropicales y templados se da por la temperatura del agua en invierno en vez de la radiación. En el Fanerozoico este límite es próximo a los 30° de latitud. (Schlager, 1992).

Los arrecifes están adaptados a vivir en el desierto submarino. Producen sus tejidos orgánicos con ayuda de la luz del sol y de los nitratos disueltos en el agua de mar. En lugares con alto contenido de nutrientes los organismos carbonáticos son suplantados por organismos de cuerpo suave como algas y esponjas. También con el aumento de los nutrientes aumenta la bio erosión y por tanto la destrucción del armazón del arrecife.

- La Circulación de agua y Oxigenación de las mismas son esenciales para el crecimiento de los esqueletos carbonáticos. Una buena circulación es esencial para los organismos arrecifales, y precipitación de ooides, buena oxigenación del agua importante para la calcificación de organismos.

Sin embargo la disminución en los valores de oxígeno disuelto en el agua afecta la diversidad y abundancia de los organismos por consiguiente, se verá afectada también la textura de las rocas carbonáticas.

La anoxia parcial o total puede ser inducida por:

- La zonación de la columna de agua por temperatura o salinidad del agua, reduciendo o impidiendo las mezclas en la vertical, también por un exagerado incremento en el suministro de nutrientes en las aguas superficiales debido a un aumento en la circulación de las aguas o surgimiento de aguas oceánicas profundas, (Schlager, 1992).
- Salinidad, donde el aumento o disminución de la salinidad afecta la diversidad biótica. Con una salinidad mayor al 40‰, la mayor parte de los invertebrados se extingue. Las algas calcáreas continúan algún tiempo, generando depósitos voluminosos como ocurre en la Bahía de los Tiburones en Australia. Algunos organismos tolerantes a la salinidad tales como pelecípodos, gasterópodos y ostrácodos pueden acumular grandes depósitos de coquinas en lagos salados. (Schlager, 2005).

- Temperatura y salinidad comúnmente afectan el crecimiento de organismos, mientras la alta temperatura y salinidad favorecen precipitación de ooides más lodo y limo calcáreo. Sin embargo, una baja salinidad y temperatura ayudan a la disolución de CaCO_3 (Figura 3).

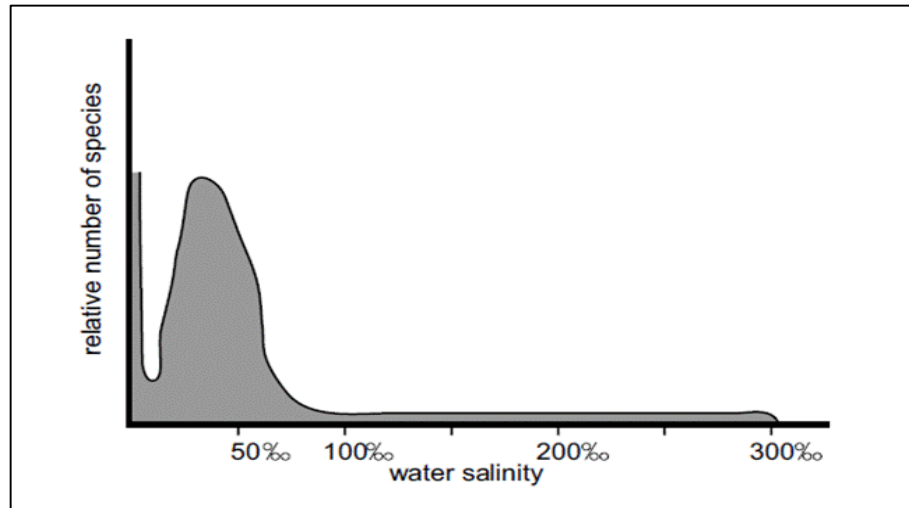


Figura 3, Muestra la salinidad del agua y la diversidad de la fauna y flora acuáticas. (Schlager, 2005).

En la Figura 3, los picos de diversidad en ambientes estables de agua dulce y ambientes marinos se caracterizan por una gran variabilidad de la salinidad, esto reduce la diversidad de especies. Variaciones de Temperatura tienen efectos similares y tienden a ocurrir juntos con las variaciones de salinidad variaciones. (Remane, 1972).

2.2.4.2 Factores biogénicos.

Los cambios evolutivos de los diferentes organismos son importantes y dominan la fuente de carbonatos a través del tiempo, cambios de naturaleza y textura de los sedimentos producidos.

- Las fábricas de carbonatos se encuentran en: aguas marinas someras y calientes, agua marinas someras y fría, (Mud mound), ambientes pelágicos y lagos.
- El control de nutrientes: Alto suministro de nutrientes (oligotrófico) favorece crecimiento de algas bentónicas y plantónicas, bajo suministro de nutrientes (eutrófico) favorece crecimiento de arrecifes de coral (con sus algas simbióticas).

2.2.4.3 Factores Tectónico y Climático.

Los factores tectónicos y climáticos se detallan en 5 puntos relevantes:

- El suministro de sedimentos siliciclásticos: Un alto flujo de sedimentos siliciclásticos inhibe la producción de carbonatos por incremento de la turbidez y reducción de la penetración de la luz, también incrementa los nutrientes favoreciendo presencia de microbios y algas y el decremento de la calcificación de organismos.
- La subsidencia de márgenes de cuenca está vinculada a la creación espacio de acomodación en plataformas carbonáticas en márgenes pasivos, siendo las altas tasas de subsidencia las que pueden ocasionar el ahogamiento de la plataforma.
- El levantamiento de margen de cuenca (Basin – margin uplift), puede incrementar el suministro de clásticos, favoreciendo la finalización de la producción de carbonatos y por consecuencia, el final de la sedimentación en la cuenca sedimentaria. Los levantamientos favorecen la exposición de la plataforma carbonática y la carsificación.
- La subsidencia relacionada a fallas (Fault - related subsidence) consiste en rápidos movimientos que pueden ahogar las plataformas y crear repisas de pendientes.
- Los cambios en el nivel del mar (*Sea level changes*) tienen mucha influencia en la producción y acumulación de carbonatos como resultado de: tectono - eustatismo, subsidencia regional, fallas o glasio - eustatismo, insolación solar y cambios por fuerzas orbitales de los ciclos de Milankovitch. (Schlager, 2005).

2.2.5 Principales constituyentes de las Rocas Carbonáticas

Los granos carbonáticos que forman el armazón de las rocas carbonáticas son originados por procesos orgánico e inorgánicos, usualmente se les agrupa en orto químicos y aloquímicos esqueléticos y no esqueléticos.

2.2.5.1 Los componentes ortoquímicos.

Son producto de la precipitación química directa en el agua, ya sea marina o meteórica, al momento de la sedimentación o durante la diagénesis. Los principales productos ortoquímicos son la matriz y el cemento, constituidos

por calcita microcristalina o micrita y calcita espárica o esparita, de acuerdo a la clasificación de Folk (1962)

- Matriz: es parte de la roca donde todos los sedimentos aloquímicos y terrígenos se encuentran contenidos en el material de grano fino de una roca y está constituida principalmente de micrita.
- Micrita: Es calcita microcristalina menores de 5 μm de diámetro y constituye la matriz de grano fino en rocas carbonatadas.
- Esparita: Caracterizada por cristales de calcita, generalmente mayores de 10 μm y colores claro o traslúcido. Originada como cemento, relleno de poros (ortoesparita).
- Cemento: material químicamente precipitado que rellena poros situados entre los sedimentos y constituido principalmente de calcita espática.

2.2.5.2 Los Componentes Alquímicos.

Son todas aquellas partículas formadas dentro de la cuenca de sedimentación, pero que no son producto de la precipitación química en el agua, sino que son, principalmente, fragmentos de organismos que vivieron durante la sedimentación o partículas producidas mecánicamente. (Folk, 1962) Se agrupan en:

- Componentes Biogénicos o esqueletales, que son productos de la fragmentación de macro o microorganismos, por ejemplo, fragmentos de moluscos, ostrácodos, algas y foraminíferos.
- No biogénicos o no esqueletales, originados ya sea por la abrasión mecánica del sedimento o producidos durante la sedimentación por procesos físicos y/o químicos, por ejemplo: intraclastos, pseudopeloides y ooides.

Oolitas, (Scholle, 2003), son partículas con envoltura, esféricas o subesféricas producto de la acreción fisicoquímica en torno a un núcleo. En general tienen tamaño arena variando 0.2 a 1 mm, en algunos casos pueden pasar los 2 mm. Pisolitas es un término para los oolitos con tamaño mayor a 2 mm (Figura 4).

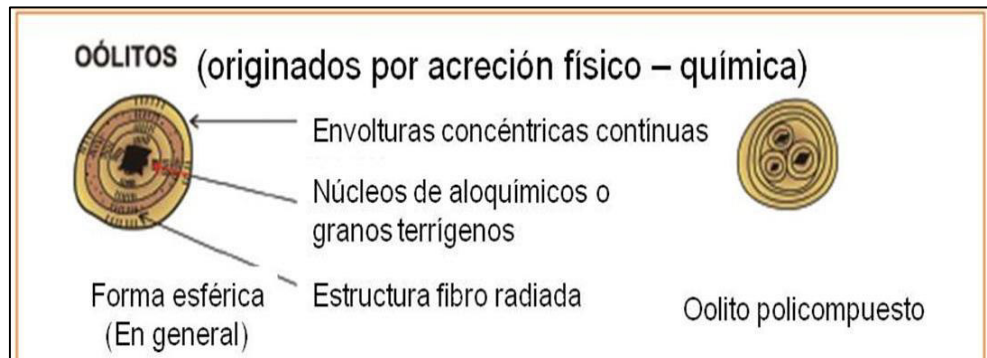


Figura 4, Esquemización de las características interna y externas de oolitos, (Terra, 2010).

Es importante resaltar que la mineralogía de los oolitos se alternó entre aragonito y calcita a lo largo del tiempo geológico. Los oolitos calcíticos dominaron las plataformas carbonáticas del Ordovícico al Misisipiano y del Jurásico al Cretáceo, mientras en los demás periodos hasta el presente dominan los oolitos aragoníticos.

Los oolitos son buenos indicadores paleoambientales y de la energía depositacional, debido a que se forman en aguas someras (menores a 5 m de profundidad) y agitadas con movimientos de olas de arena, dunas y ondulaciones, por acción de olas, mareas y tempestades.

Los oolitos marinos recientes tienen su micro estructura interna formada por cristales de aragonito acicular con 2 micras de largo orientados tangencialmente a la envoltura. (Ver Figura izquierda en la Figura 4).

En la parte inferior la Figura 5 (izquierda) se muestra oolitos marinos recientes y a la derecha, se muestra la estructura interna formada por cristales de aragonito acicular de 2 micras de largo orientado tangencial a la envoltura.

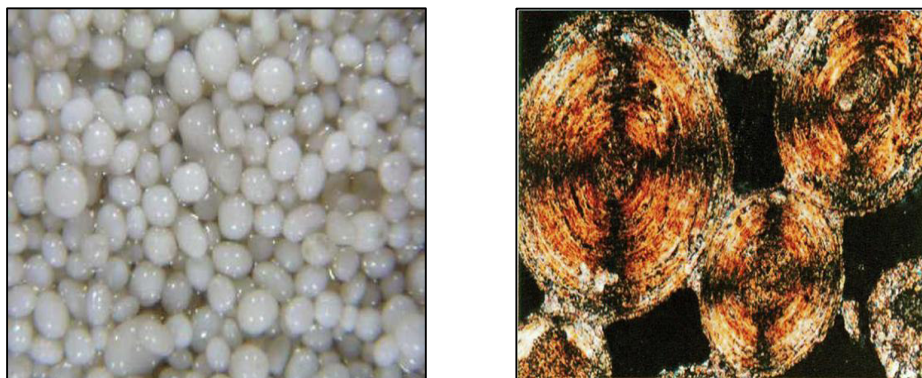


Figura 5, Fotografía izquierda Oolitos marinos recientes y derecha Oolitos con cristales de Aragonito. (Spalletti & Schwarz, 2010)

Oncolitos, (Scholle, 2003), son granos producto de la acreción órgano – sedimentaria de cianobacterias y se les considera como estromatolitos esféricos (Riding, 2000). Se caracterizan por tener envolturas discontinuas poco nítidas, con sedimento atrapado entre envolturas de forma esférica a elíptica (Figura 6).

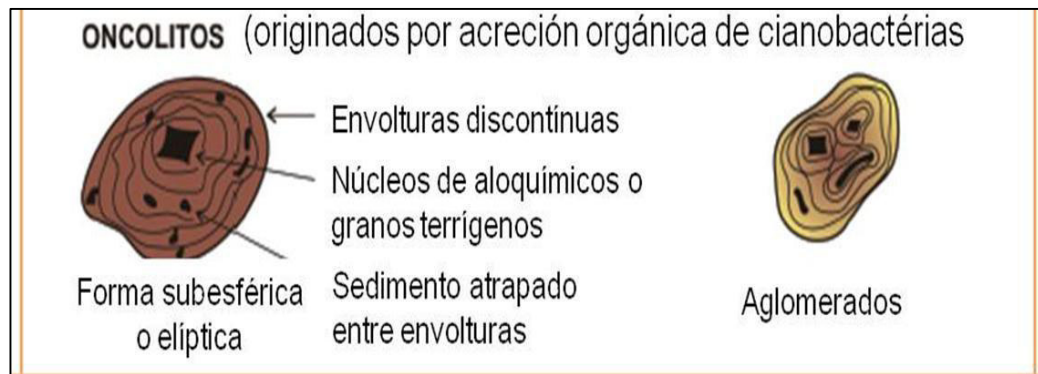


Figura 6, Muestra esquemas de las formas subesféricas y elípticas de los oncolitos. (Terra, 2010).

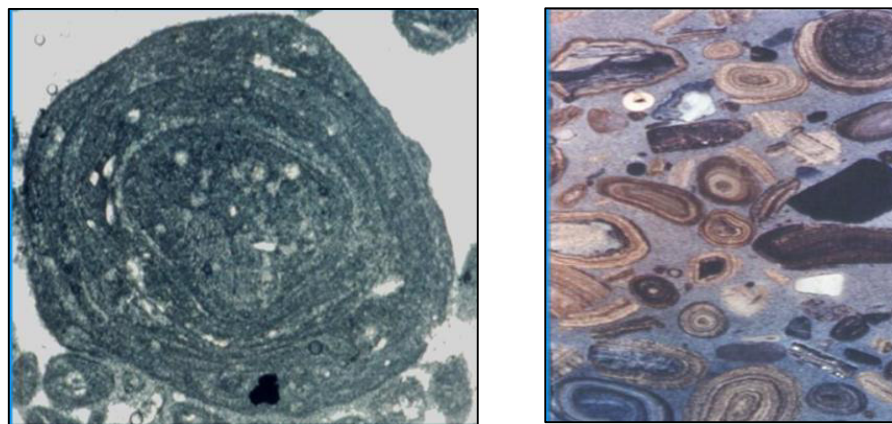


Figura 7, Fotografía izquierda, muestra la composición interna de un oncolito. Fotografía derecha muestra parte de una roca constituida por granos de oncolitos. (Terra, 2010).

Como diferenciar oncolitos de oolitos:

- Selección de roca y redondeamiento de granos. Los oolitos debido a la mayor energía mareal necesaria para su formación, son mejor seleccionados y redondeados que los oncolitos.

- Presencia de matriz micrítica. La alta energía ambiental necesaria para la formación de oolitos no permite que se deposite matriz simultáneamente. Sin embargo en los oncolitos que se forman en ambientes de energía más baja es común la presencia de micrita asociada.
- Mayor frecuencia de los granos aglomerados en rocas oncolíticas que granos policompuestos en las rocas oolíticas.
- Oncolitos de laminación irregular y gran tamaño (mayor a 5 mm) ocurren asociados con peloides y matriz micrítica, son representativos de deposición de baja energía en posiciones protegidas. Oncolito estático. (He, 1982).
- Condiciones de aguas someras y alta energía ambiental pueden generar oncolitos esférico o subesféricos entre 0.5 y 1 mm, usualmente con buena selección y estratificación cruzada, formando barras paralelas al margen de la cuenca, se denominan Oncolitos dinámicos. (He, 1982).

Peloide y Peloides Fecales, son granos micríticos de forma subesférica sin estructura interna. Pueden ser granos aloquímicos micritizados de origen desconocido, clastos de arcillas o fragmentos de bioclásticos naturalmente redondeados aun reconocibles. Las algas rojas coralináceas forman frecuentemente cantidades de peloides por el quiebre de las extremidades redondeadas que posteriormente por el retrabajo se irán formando los peloides (Figuras 8 y 9).

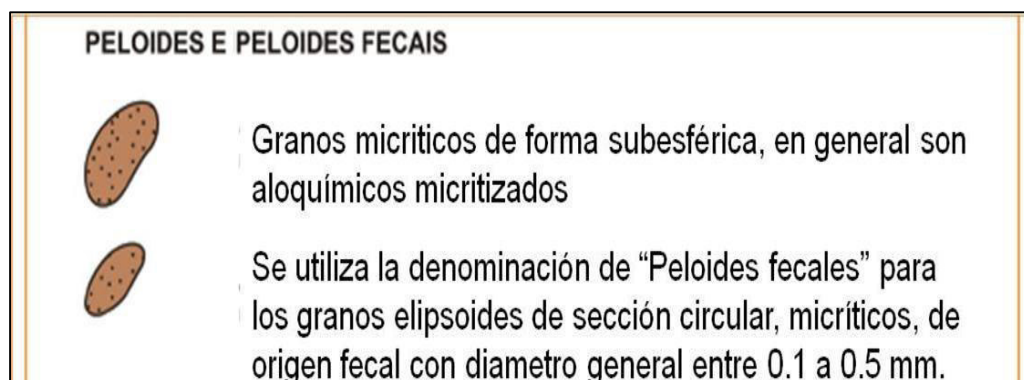


Figura 8, Muestra esquemas de las formas subesféricas y elípticas de peloides. (Terra, 2010).

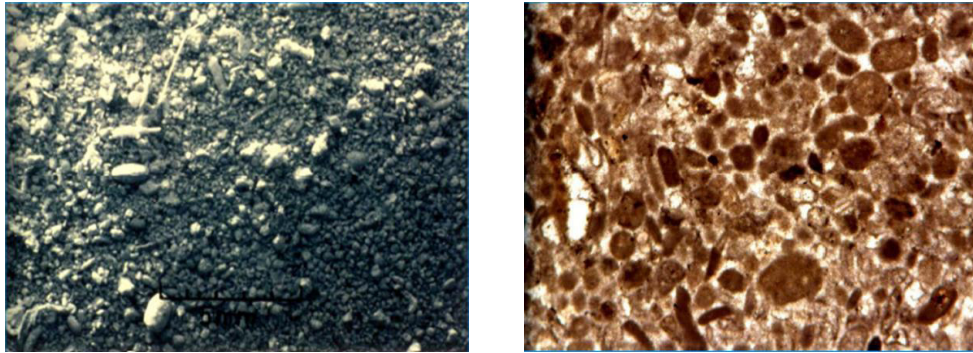


Figura 9, Fotografía izquierda, muestra de roca conformada integralmente por peloides. Fotografía derecha, muestra una sección de corte de roca conformada por peloides. (Terra, 2010).

Esferolitos, son partículas de esférica a subesférica de contornos lisos o lobulados de tamaño mayor a 2mm (Figura 10).



Figura 10, Fotografía izquierda, muestra de roca conformada integralmente por esferolitos. Fotografía derecha muestra detalle de esferolitos. Fotografía inferior muestra de pared de roca esferolítica. (Terra, 2010).

Intraclasto, son fragmentos penecomtemporaneos de sedimentos carbonáticos, parcialmente litificados, que son erosionados de la superficie de deposición y redepositados como nuevo sedimento. Los intraclastos pueden ser de fragmentos de mud parcialmente consolidado o arena carbonatica parcialmente litificada. El reconocimiento de la composición de los intraclastos es importante para las reconstrucciones paleoambientales.

Las corrientes de turbidez pueden depositar grainstones compuestos por granos de la plataforma somera con intraclastos provenientes del talud y cuenca (Figura 11).

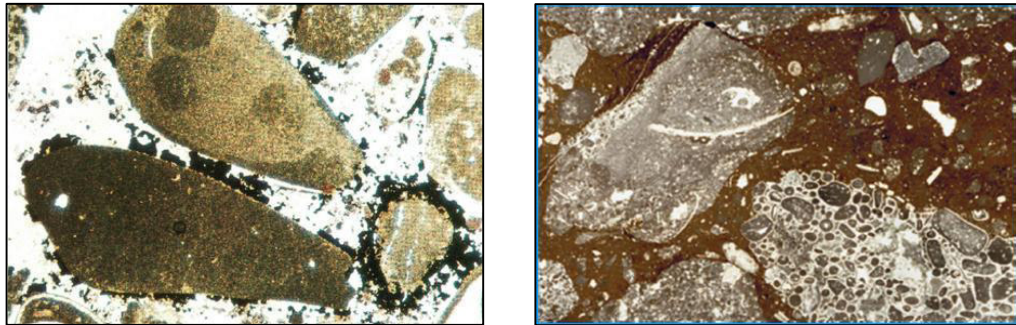


Figura 11, Fotografía izquierda, muestra de roca conformada por fragmentos litificados. Fotografía derecha muestra intraclastos. (Spalletti & Schwarz, 2010).

Bioclastos, son los principales constituyentes de las rocas carbonáticas y engloban todos los fósiles con fragmentos de esqueletos y estructuras de organismos calcáreos (animales y vegetales), (Figura 12).

El método mas utilizado para la identificación de bioclastos es la petrografía de microfacies, las cuales toman en consideración la forma del organismo, microestructura del grano, mineralogía del grano y asociación de los organismos. Formas del organismo; Microestructura del grano, Mineralogía del grano; Asociación de los organismos y también abundancia de taxones.

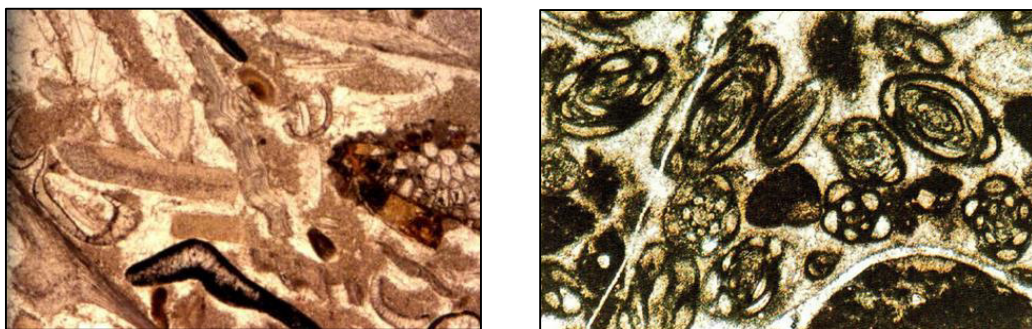


Figura 12, Fotografía izquierda, muestra de bioclasto. Fotografía derecha bioclasto de foraminíferos miliolidos. Spalletti L, Schwarz E. 2010.

Lodo carbonático. La matriz microcristalina denominada lodo carbonático o micrita es uno de los constituyentes más comunes y abundantes de las rocas carbonáticas. Definiéndose como lodo carbonático todo material

carbonático constituido de cristales menores a 4 μm , los tamaños menores a 62 μm con granulometría de arcilla son tratado como matriz.

Mecanismo de origen de lodo carbonático

- Abrasión mecánica y abrasión biológica. La abrasión mecánica de partículas carbonáticas por medio de las olas y corrientes y la bioerosión producida por organismos que ingieren y disuelven químicamente el material carbonático, reduciendo la granulometría a tamaño arcilla (Figura 13).

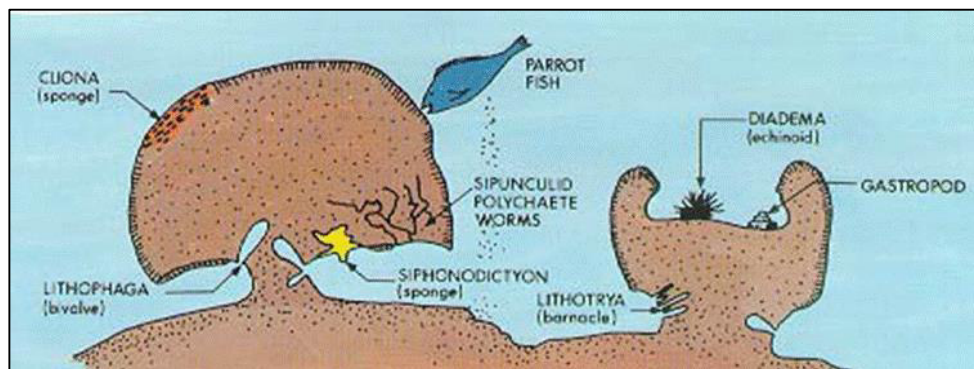


Figura 13, Diagrama de la distribución de los principales tipos de organismos que causan la bioerosión en arrecifes. (James, 1983).

- Durante la precipitación inorgánica, el lodo carbonático puede ser precipitado directamente a partir del agua de mar, esto también es común en lagos. El término en inglés *withings* se da a acumulaciones de lodo en la superficie del mar originadas por los peces o tempestades (Figura 14).
- Producción orgánica por desintegración de organismos, los análisis de que gran parte de lodo carbonático depositado en las islas Bahamas esta compuesta por agujas de aragonita, llevo a plantear la teoría de que estas agujas eran producidas por la desintegración de algas calcáreas (Figura 15) (Neumann & Land, 1975).
- Producción orgánica, Bioacumulación de microorganismos: Una fuente de lodo son los carbonatos de aguas profundas constituidos principalmente por esqueletos de varios grupos de microfósiles calcáreos en especial cocolitos y foraminíferos planctónicos (evolucionan a partir del Jurásico), las facies de aguas profundas de edad pre Jurásico tienen menor

contenido de sedimentos carbonáticos que las post Jurásico donde aumento drásticamente.



Figura 14, Fotografía izquierda, muestran acumulaciones de lodo (withings) en la superficie del mar – Bahamas. Fotografía derecha muestra banco de lodo en La Florida. (Petrobras, 2012) conocido como Carbonato Bahamas.

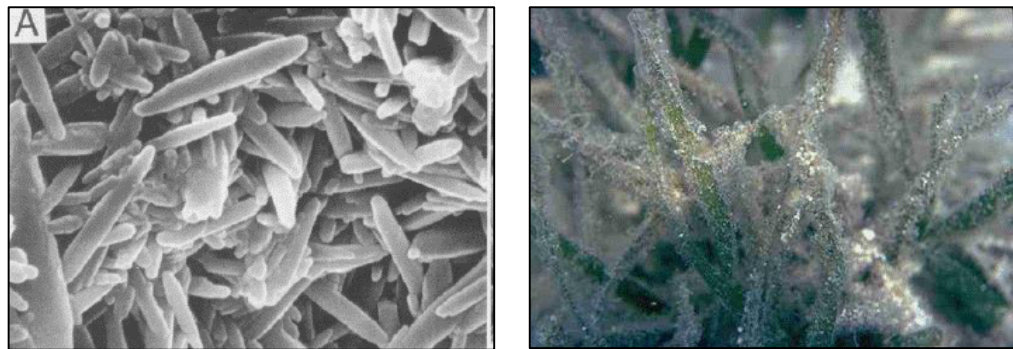


Figura 15, Fotografía izquierda, muestra agujas de aragonita. Fotografía derecha muestra derecha, pasto marino *Thalassia*. (Petrobras, 2012), conocido como Carbonato Bahamas.

- Intervención de Organismos en la Precipitación, Bioquímica: La posibilidad que los organismos intervengan en la precipitación de minerales, toma gran impulso después del descubrimiento de material orgánico extremadamente pequeño, (Folk, 1993), que denominó nanobacterias en travertinos de Italia. Los travertinos son rocas calcareas formadas a partir de fuentes termales ricas Ca^{++} , HCO_3 y H_2S que con la participacion de diversos tipos de bacterias y cianobacterias dan origen a un laminado calcareo.

Origen de la Dolomía, existe un aumento en la cantidad de rocas dolomitizadas del Pre-Cambrico hasta el Cenozoico. La dolomita es un mineral que solo precipita artificialmente en el laboratorio en condiciones de

alta presión y temperatura, incompatibles con las condiciones geológicas de las rocas donde se le encuentra. Actualmente son raras las ocurrencias de dolomía, un lugar es la Laguna Roja ubicada en el litoral de Rio de Janeiro, con un régimen hidrológico especial. En periodo evaporático es hipersalina, estratificación de agua, alta productividad bacteriana y formación de zona anoxia, en estas condiciones se desarrollan cristales de calcita magnesiana y dolomía calcífera. ([Vasconcelos, 1997](#)).

2.2.6 Clasificación de las rocas carbonáticas

La clasificación y nomenclatura de las rocas carbonáticas tiene como antecedente importante el simposium de Clasificación de Rocas Carbonatadas dado por la American Association of Petroleum Geologist, ([AAPG, 1962](#)) en Tulsa, Oklahoma, Estados Unidos, donde se definió que los conceptos clásicos en sistemática de clasificación de las rocas carbonáticas son como siguen:

2.2.6.1 Carbonáticas Autóctonas

- Biogénicas
- Químicas
- Metasomáticas

2.2.6.2 Carbonáticas Alóctonas

- Calciruditas
- Calcipsamitas (clásicamente calcarenitas)
- Calcipelitas

2.2.6.3 Clasificación Petrográfica de Folk. (1962)

Fundamento: empleo de todos los componentes que participan en la roca y que aparecen en proporción superior al 1 %. (Figura 16)

Procedimiento:

- Determinar la moda petrográfica, sobre la base de los componentes definidos por Folk. (1962)
- Ordenar a los componentes en orden porcentual decreciente.
- Aplicar la denominación con el empleo de sustantivos, prefijos, sufijos y calificativos.

- Sugerencias: anteponer el prefijo oligo antes de todos los componentes que aparezcan en proporciones menores al 25%.
- En el caso de sedimentitas con dolomita emplear el prefijo “dolo” para aquellas que posean más del 50% de dicho mineral y el calificativo “dolomítico” para las que lo tengan entre 50 y 10%.
- Tipos especiales de Folk (1962)
- Dismicrita: micrita fenestral o micrita esparítica o subesparítica.
- Biolitita: carbonatos biogénicos bioconstruidos (build ups), entre los que se reconocen biohermitas y biostromitas.
- Carbonatos terrígenos, constituidos esencialmente por calcilitos.

Clastos		
64 16 4 2	CALCIRUDITA	muy gruesa
		gruesa
		mediana
		fina
1 0,5 0,25 0,125 0,063	CALCARENITA	muy gruesa
		gruesa
		mediana
		fina
		muy fina
0,03 0,016 0,004 mm	CALCIPELITA	limo calcáreo
		micrita

Folk (1962) modificada

Cristales		
64 16 4 2	MACROESPARITA	cristalina extremadamente gruesa
		cristalina muy gruesa
1 0,5 0,25 0,125	ESPARITA	cristalina gruesa
		cristalina mediana
0,063 0,03 0,016 0,004 mm	SUBESPARITA	cristalina fina
		cristalina muy fina
		afano-cristalina

Figura 16, Clasificación textural de calizas, (Folk, 1959). Modificada por (Folk, 1962).

La Figura 16, explica la nomenclatura de los carbonatos a partir de la presencia de clastos o cristales definiendola a partir de su tamaño en milímetros.

Ejemplos fotográficos de la nomenclatura de Folk, (1962), (Figuras 17, 18,19, 20).

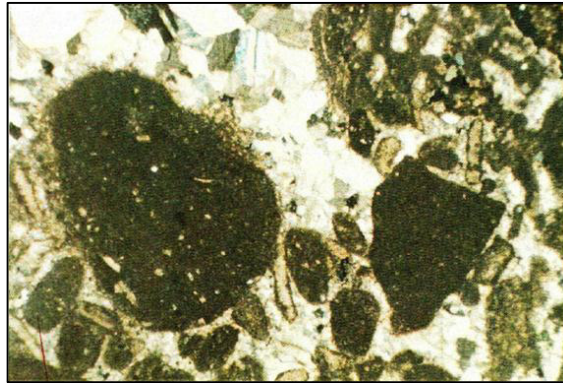


Figura 17, Ordoviciano medio. Chazy and Black River Limestone. Pensilvaniano. (Spalletti & Schwarz, 2010), donde se observan intraespinitas con escasos fósiles y clastos de grainstone.

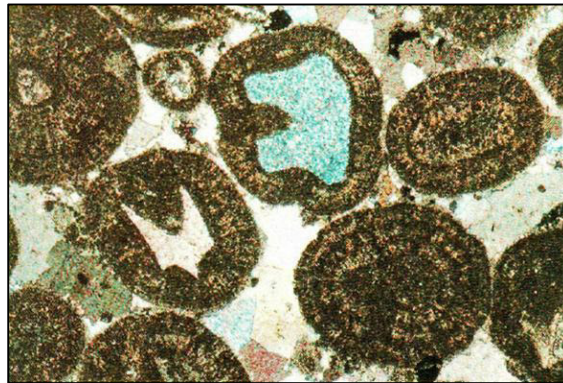


Figura 18, Paleozoico. Calizas, Estados Unidos, centro, Oosparita con fragmentos de fósiles (Grainstone). (Spalletti & Schwarz, 2010).

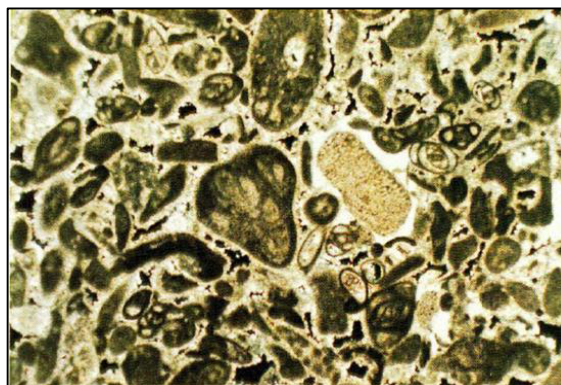


Figura 19, Oligoceno superior, caliza, grainstone. Florida Bioesparita con equinodermos, foraminíferos miliolidos, moluscos etc. (Spalletti & Schwarz, 2010).

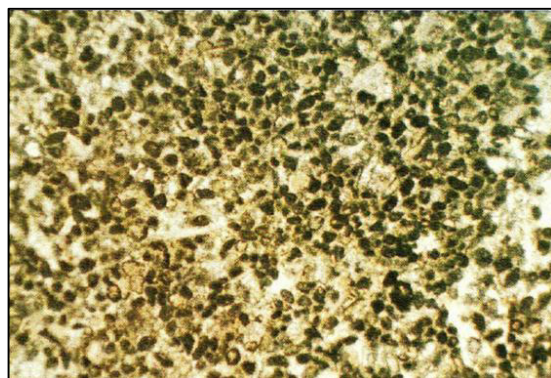


Figura 20, Paleozoico de Alabama, Pelesparita (Grainstone). (Spallleti & Schwarz, 2010).

2.2.6.4 Clasificación Petrográfica de Dunham (1962)

Clasificación de Dunham distingue dos tipos generales de carbonatos: los que presentan textura depositacional reconocible, y los que presentan textura cristalina, no siendo posible reconocer la textura depositacional.

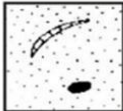
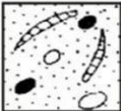


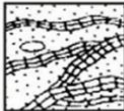
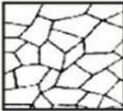
Textura depositacional reconocible					Textura depositacional reconocible
Componentes originales no enlazados durante la depositación			Sin lodo soportada por granos	Los componentes originales se encuentran juntos durante la depositación	
Contiene lodo (arcilla y limo fino de carbonato)					
Soportada por lodo	Soportada por granos				
Granos: <10%	Granos: >10%				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Carbonato cristalino
					

Figura 21, Clasificación de Dunham, (1962) (basada en textura).

Problemas de la Clasificación de Dunham, (Figuras 21, 22)

- El uso de vocablos en inglés y a la fecha sin traducción al español.
- La indefinición granulométrica de los tipos detríticos.
- La agrupación de los componentes ligados en una sola clasificación “Boundstone” sin diferenciar granulometría.

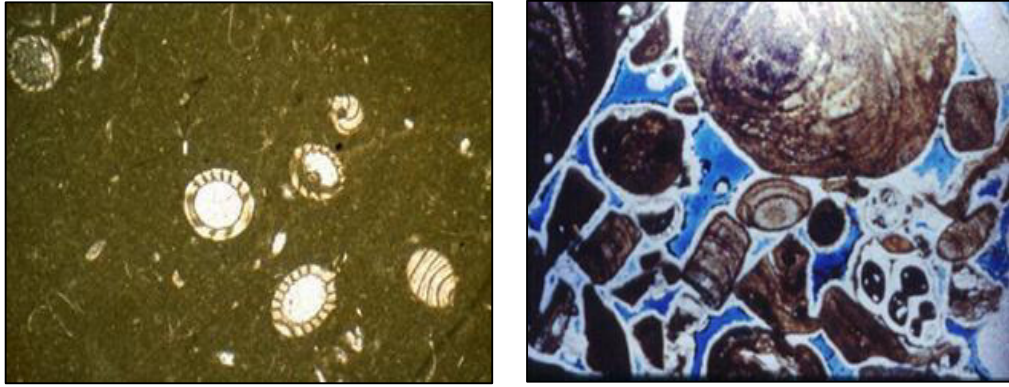


Figura 22, Fotografía izquierda, muestra Wakestone soportado por matriz. Fotografía derecha muestra Packstone soportado por granos. (Terra, 2010).

Mudstone, Dunham, (1962).

Roca carbonática soportada por la matriz con menos del 10% de grano del tamaño de la arena o mayor. Si ocurren granos se complementa el nombre con el término de composición: oolitas, oncolitos, peloides, peloides fecal, intraclastos, bioclastos, esferulitas (Figura 23).



Figura 23, Fotografía muestra Mudstone con escasos bioclastos.

Wackestone, Dunham, (1962).

Roca carbonática soportada por la matriz con más del 10% de granos del tamaño de la arena o mayor. Se complementa el nombre con el término de composición tales como oolitas, oncolitos, peloides, peloides fecal, intraclastos, bioclastos, esferulitas (Figura 24).

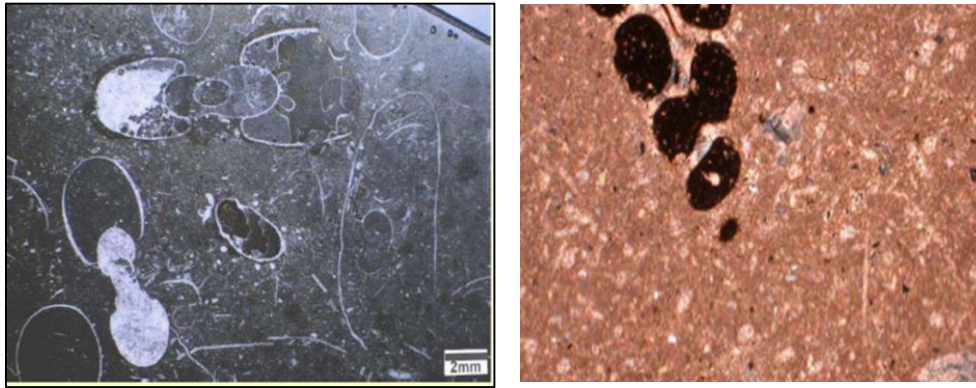


Figura 24, Fotografía izquierda muestra Wackestone con bioclastos. Fotografía derecha muestra Wackestone con bioclastos, Formación Riachuelo, Mb. Taquari (Cretácico) Sergipe – Alagoas, Brasil. (Terra, 2010).

Packstone, Dunham, (1962).

Roca carbonática soportada por los granos con matriz. Se complementa el nombre con el término composicional: oolitas, oncolitos, peloides, peloides fecal, intraclastos, bioclastos, esferulitas (Figura 25).

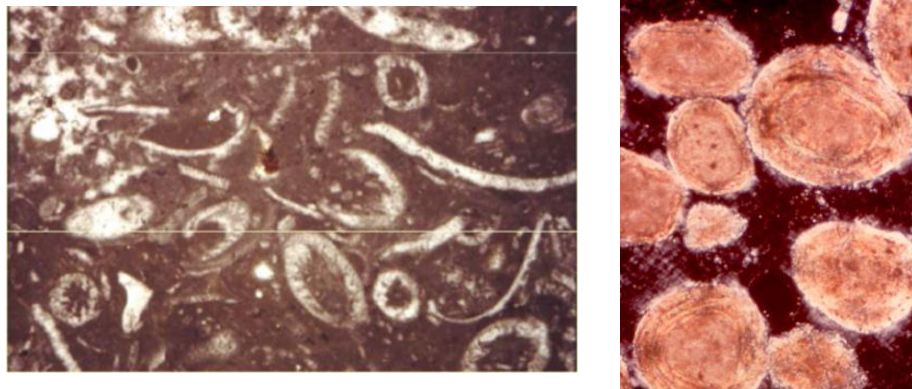


Figura 25, Fotografía izquierda muestra Packstone, Formación Jandaíra, Cretácico, Cuenca Portiguar, Brasil. Fotografía derecha muestra Packstone oomicrítica. (Terra, 2010).

Grainstone, Dunham, (1962).

Roca carbonática soportada por los granos sin matriz con un máximo de 5%. Se complementa el nombre con el término composicional, oolitas, oncolitos, peloides, peloides fecal, intraclastos, bioclastos, esferulitas, entre otros, (Figura 26).

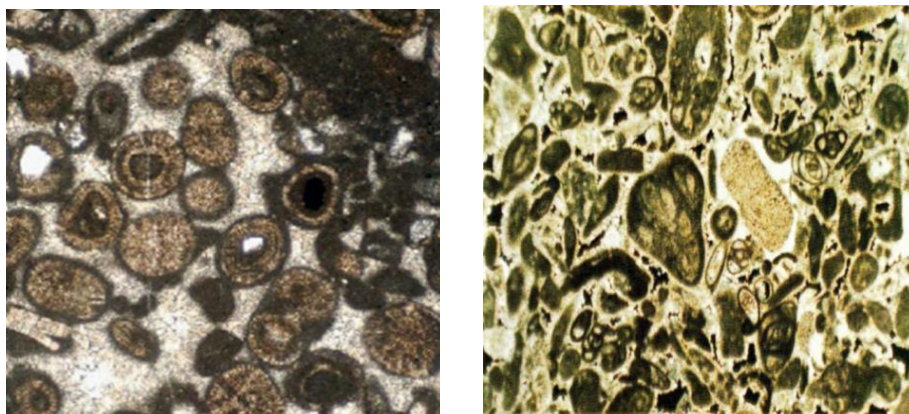


Figura 26, Fotografía izquierda muestra Grainstone oosparítico. Fotografía derecha muestra Grainstone biosparítico, con equinodermos, moluscos, foraminíferos. (izquierda). Oligoceno Superior, Caliza Suwannee. Florida. (Spalletti & Schwarz, 2010).

2.2.6.5 Clasificación de Embry y Klován

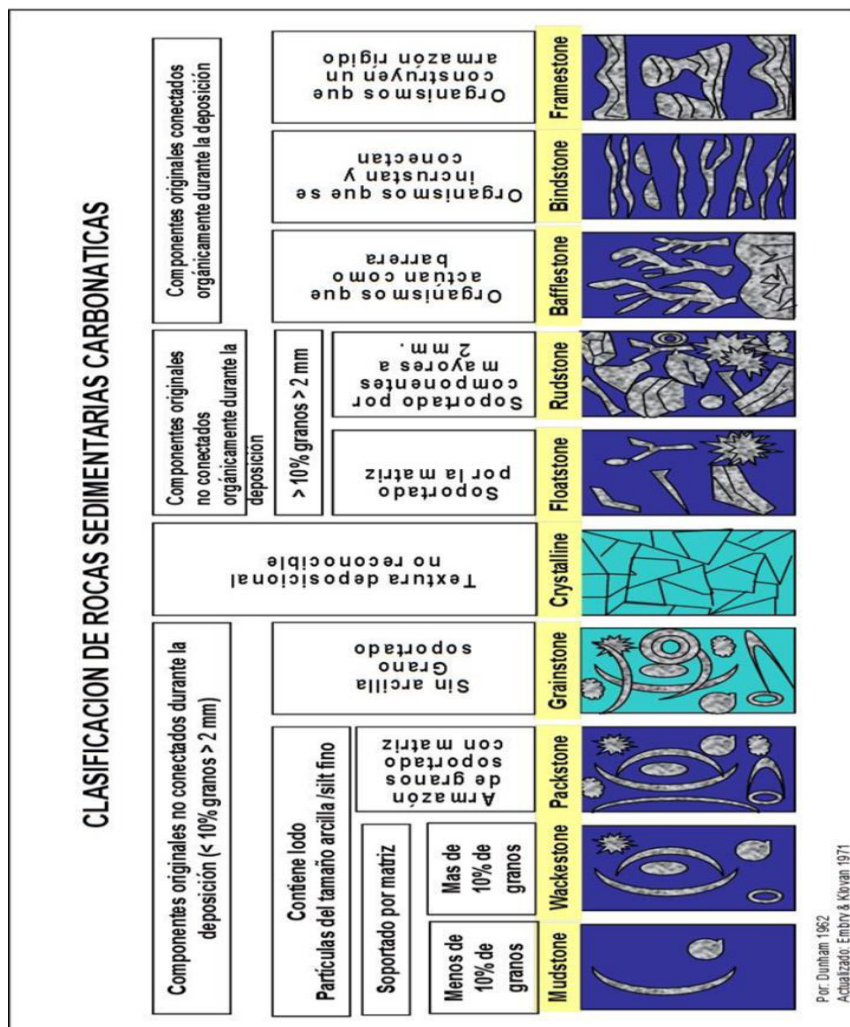


Figura 27, Clasificación de calizas propuesta por (Embry & Klován, 1971).

Los aportes en clasificación de los carbonatos de Embry y Klovan (1971) se basan en la granulometría y por consiguiente en la textura para discretizar el Bounstone.

Textura	Calcipsamitas	Calciruditas
Textura matriz soportada	Wackestone	Floatstone
Textura grano soportada	Packstone - Grainstone	Rudstone

Bafflestone (Deflectolita), incluye organismos sésiles que actúan como filtros para los efectos de las corrientes y favorecen la decantación del lodo carbonático.

Bindstone, es un cuerpo tabular, laminar constituido por restos de organismos que han sido unidos por la acción de incrustantes, (Figura 27).

Boundstone estromotolítico, carbonato típico estramatolítico.

Framestone, los organismos constituyen un cuerpo rígido por crecimiento colonial y en simbiosis, (Figura 27).

La última clasificación y modificación a la de Embry y Klovan la ha realizado [Gerson Terra en el año 2010](#), publicada en el Boletín de Geociencias de Petrobras.

Floatstone, ([Embry & Klovan,1971](#)).

Roca carbonática soportada por la matriz con más del 10% de granos mayores a 2 mm. Se complementa el nombre con el término composicional: oolitas, oncolitos, peloides, peloides fecal, intraclastos, bioclastos, esferulitas. Límites confusos con Wackestone (Figura 28)

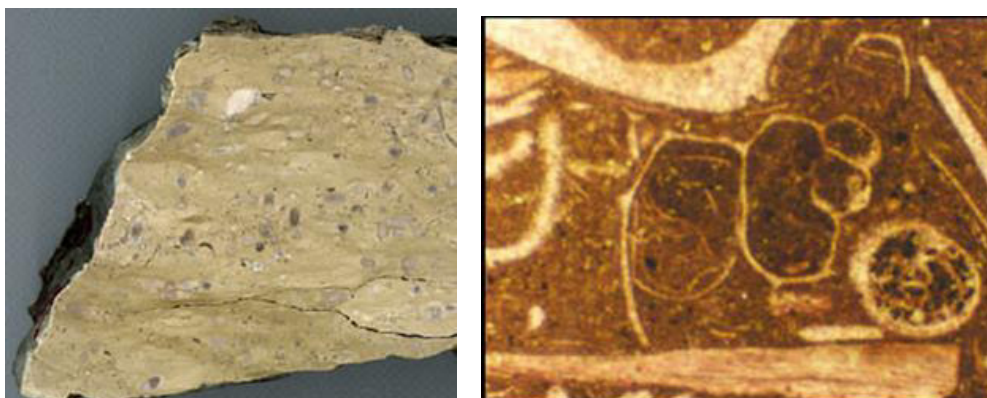


Figura 28, Fotografía izquierda muestra Floatstones biomicrítico. Fotografía derecha muestra Floatstone. (Terra, 2010).

Rudstone, ([Embry & Klovan, 1971](#)).

Roca carbonática soportada por los granos con más del 10% de granos mayores a 2 mm. Se complementa el nombre con el término composicional: oolitas, oncolitos, peloides, peloides fecal, intraclastos, bioclastos, esferulitas, o con fragmentos de estromatolitos, trombolitos, laminito, leilolito, dendrolito, esferolito. Límites confusos con Packstone (Figura 29).

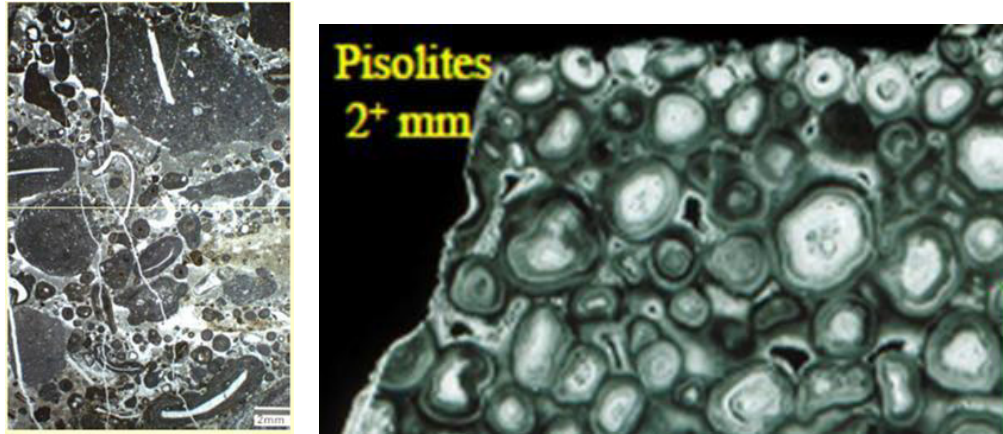


Figura 29, Fotografías izquierda y derecha muestra Rudstone intraclástico, Formación Riachuelo, Cretáceo, Sergipe – Alagoas, Brasil. (Terra, 2010).

Bioacumulado, modificado (Carozzi, 1972)

Roca carbonática constituida por un tipo dominante de organismos, con tamaño de arena o más y con poco o sin retrabajo (in situ). Se complementa el nombre con el término del organismo principal formador: ostracodos, bivalvos, gasterópodos, macroforaminíferos, crinoides, etc. Ejemplo Bioacumulado de ostracodos. No están incluidos organismos de tamaño menor a arena, Bioacumulado de organismos pequeños que forman matriz Ejemplo Nanofosiles, foraminíferos planctónicos (Figura 30).

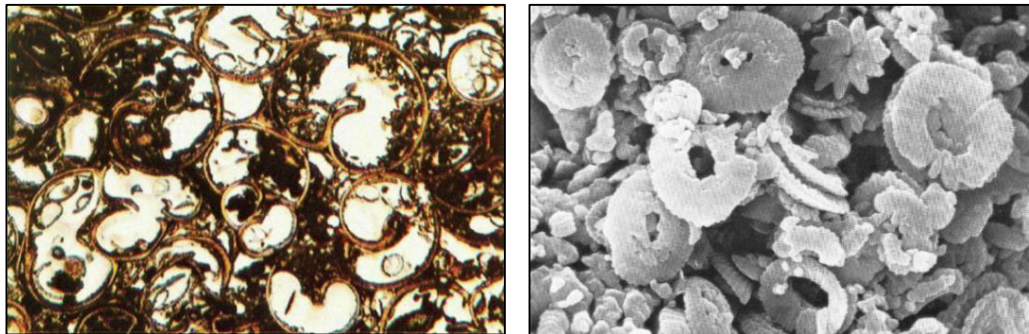


Figura 30, Fotografía izquierda muestra Bioacumulado de gasterópodos, Mioceno Superior. Caliza Hydrobien, Alemania. Fotografía derecha

Bioacumulado de cocolitos pequeños, Eoceno en Bermudas. (Spallleti & Schwarz, 2010).

Brecha, (Pettijohn, 1974 & Flugel, 2004).

Es un término muy utilizado en sedimentología para describir a las rocas carbonáticas soportada por los granos con más del 50% de granos angulosos mayores a 2 mm. La angularidad restringe el uso del término para los casos en que los granos son intraclastos o fragmentos de estromatolitos, trombolitos, laminito, leilolito, dendrolito, (Figura 31).



Figura 31, Fotografía izquierda muestra de brecha, Jurasico, Monterey, Mexico. Fotografía derecha, se observa zoom de imagen de la izquierda. (Spallleti & Schwarz, 2010).

Boundstone, (Dunham, 1962)

Rocas carbonáticas formada in situ cuyos componentes de trama original fueron ligados durante la deposición. El nombre se puede completar incluyendo el nombre del principal organismo formador: corales, algas, rudistas, estratoporoides etc. Ejemplo Boundstone coralgalo, (Figura 32).

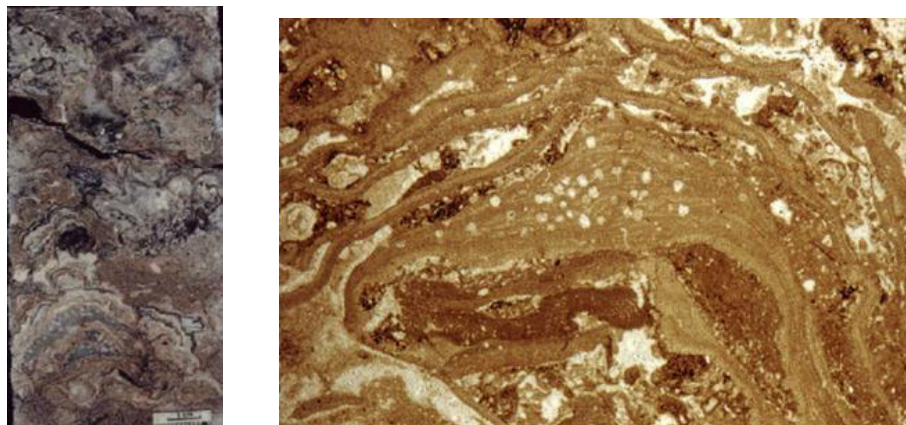


Figura 32, Fotografías izquierda y derecha muestra calizas Boundstone, Formación Ponta do Mel (Cretácico) Cuenca Portiguar, Brasil. (Terra, 2010).

Estromatolito, modificado de (Riding, 2000 por Terra, 2010).

Depósito de estructura laminada y en general convexa, pudiendo presentar características de crecimiento o ramificaciones hacia el tope. Mayormente de origen microbial, Puede ser observado en diferentes escalas. Presenta las siguientes variaciones:

Estromatolito Arborescente, cuando los componentes internos se organizan en forma ramificada y divergente y tienen mayor altura que ancho (Figura 33).

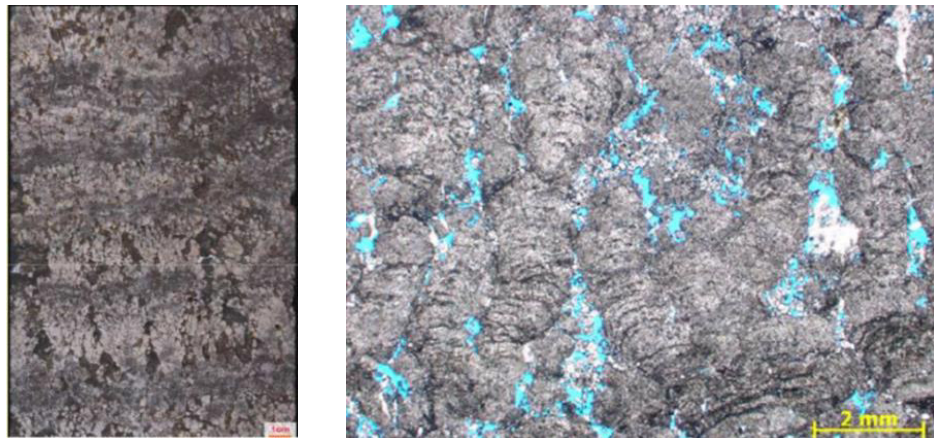


Figura 33, Fotografías izquierda y derecha muestra, Estromatolito arborescente, Formación Barra Velha, (Cretácico), Cuenca de Santos, Brasil. (Terra, 2010).

Estromatolito Arbustiforme, cuando los componentes internos se organizan en forma ramificada o no desde la base y la razón Altura/Ancho es cercano a 1 (Figura 34).

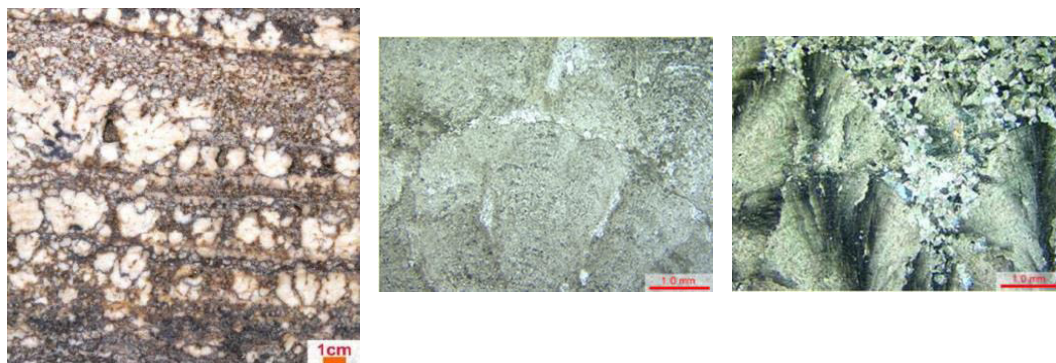


Figura 34, Fotografías izquierda, centro y derecha muestra, Estromatolito arbustiforme, Formación Barra Velha (Cretácico) Cuenca de Santos, Brasil. (Terra, 2010).

Estromatolito Dendriforme, cuando los componentes internos se organizan en forma intensamente ramificada y divergente y tienen una altura mayor que el ancho (Figura 35).

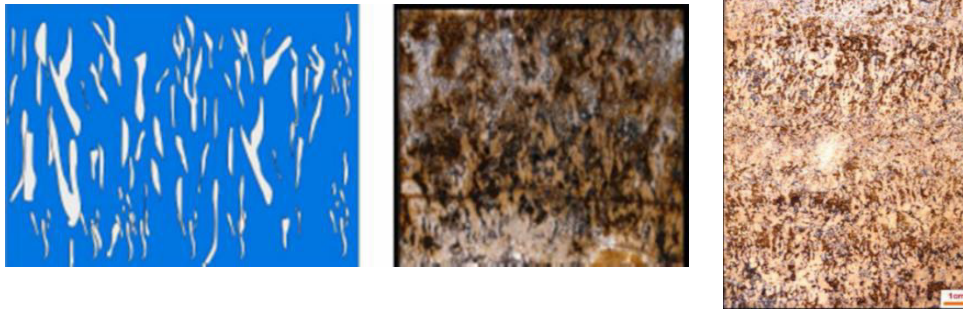


Figura 2.35, Fotografías izquierda, centro y derecha muestra, Estromatolito dendriforme, Formación Barra Velha (Cretácico) Cuenca de Santos, Brasil. (Terra, 2010).

Trombolito, modificado de (Riding, 2000 por Terra, 2010).

Es un depósito de textura macroscópica coagulada (*clotted*) maciza, domica. En la mayoría de las veces de origen microbial (Figuras 36 y 37).



Figura 36, Fotografías izquierda y derecha muestra, Trombolito, Formación Riachuelo, (Cretácico) Cuenca de Sergipe/Alagoas, Brasil. (Terra, 2010)..



Figura 37, Fotografías izquierda y derecha muestra, Trombolito, Miembro. Omkyk, Sub Cuenca de Zaris - Ediacarano – Namibia,.(Petrobras, 2011), Carbonatos Namibia

Dendrolito, (Riding, 2000).

Depósito microbial de estructura dendrítica formada por cianobacterias esqueletales (Figura 38).

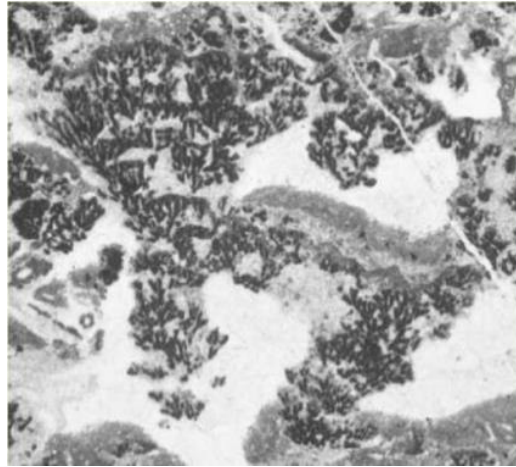


Figura 38, Fotografía muestra Dendrolito, Gordonophyton, Cambriano, China,. (Spallleti & Schwarz, 2010).

Leiolito, (Riding, 2000).

Depósito microbial dómico, sin laminaciones o coágulos (Figura 39).



Figura 39, Fotografía muestra Leiolito, Mioceno, SE España. (Terra, 2010).

Esferolito, (Terra, 2010).

Roca compuesta por partículas de formas esféricas o subesféricas de contornos lisos o lobulados (esferolitos) de tamaño generalmente inferior a 2 mm. Pueden presentarse amalgamados o aislados, en el caso de ocurrencia de arcillas: Esferolito soportado con arcilla (> 10%) es Esferolito con arcilla;

Arcilla-soportado con esferolitos es Arcilla con esferolitos, en el caso que la arcilla ocurra en lamelas es Arcillita lamelar con esferolitos (Figura 40).



Figura 40, Fotografía muestra Esferolito, Formación. Barra Velha, Cretáceo, Cuenca de Santos, Brasil. (Petrobras, 2010).

Travertino y Tufo, modificado de (Pettijohn, 1957, por Riding, 2000).

Roca carbonática bandeada formada por la precipitación en superficie de soluciones concentradas de CaCO_3 alrededor de fuentes (calientes) debido a la pérdida de CO_2 por evaporación. La variedad mas esponjosa y menos compacta se denomina TUFO que puede ocurrir en fuentes subacuosas saturadas de CaCO_3 que emergen del fondo de los lagos alcalinos (Figura 41).



Figura 41, Fotografía de Travertino, Italia. (Terra, 2010).

Laminito, modificado de (Demicco, 1994).

Roca carbonática de granulometría fina (lodosa y/o peloidal) formada por la recurrencia de laminaciones delgadas. Las laminaciones tienden a ser plano – paralelas, con superficie lisa (origen microbial o no) Laminito Liso, o crenulado (origen microbial), Laminito Crenulado. (Figura 42).

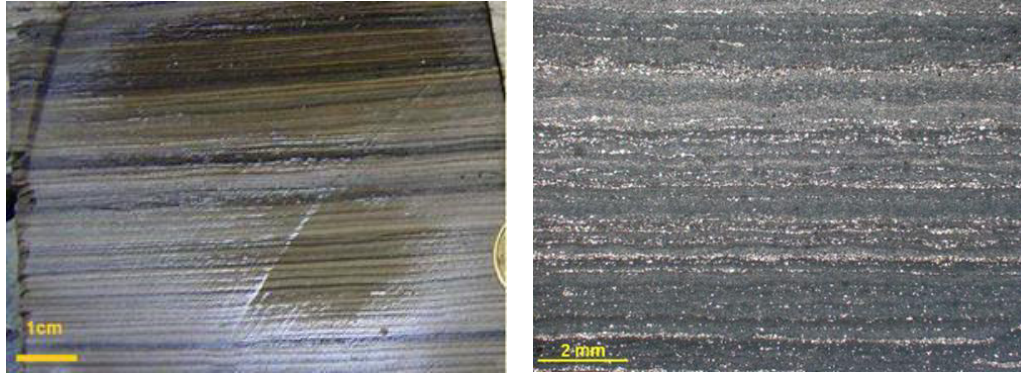


Figura 42, Fotografía izquierda muestra Laminito Liso, Formación Muribeca, Cretáceo, Cuenca de Sergipe - Alagoas – Brasil. Fotografía derecha Laminito, Formación Barra Velha, (Cretácico), Cuenca de Santos, Brasil. (Terra, 2010).

Laminito Crenulado, (Figura 43)

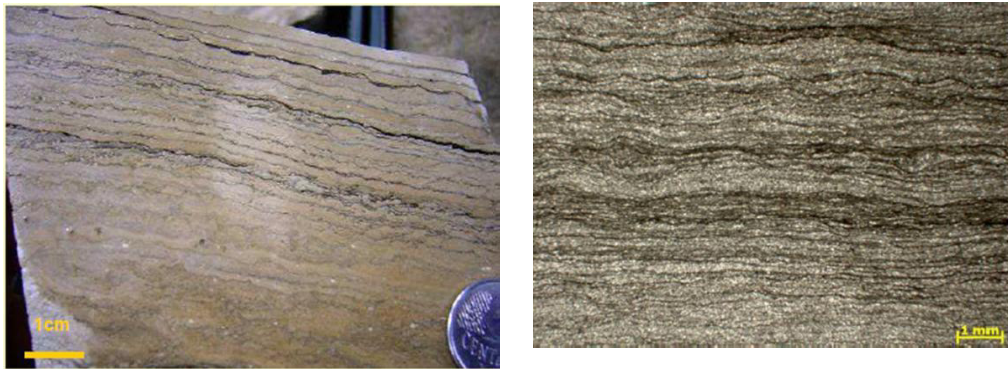


Figura 43, Fotografía izquierda muestra Laminito Crenulado, Formación Muribeca, Cretáceo, Cuenca de Sergipe - Alagoas – Brasil. Fotografía derecha Laminito, Formación Barra Velha, Cretáceo, Cuenca de Santos, Brasil. (Terra, 2010).

Calcereo Cristalino, Folk, (1962), Dunham, (1962)

Es una roca carbonática totalmente recrystalizada no siendo posible identificar su textura original deposicional (Figura 44).

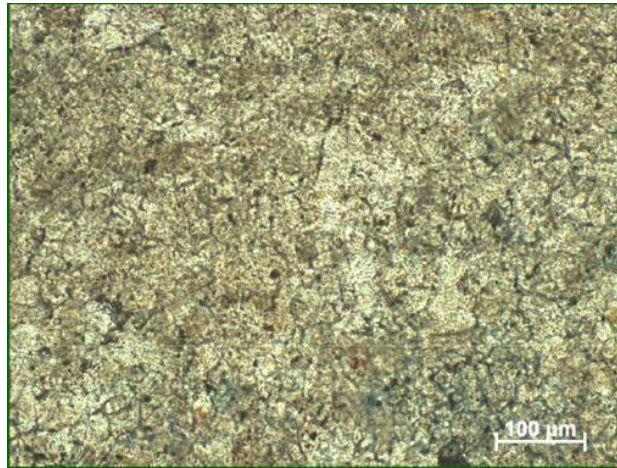


Figura 44, Fotografía que muestra una roca calcárea microcristalina constituida por cristales de tamaño entre 5 a 50 μm . Formación Salitre, (Neo-Proterozoico), Cuenca de San Francisco, Brasil. (Terra, 2010).

Dolomia, Folk, (1962), Dunham, (1962)

Roca carbonática totalmente dolomitizada no siendo posible identificar su textura original deposicional (Figura 45).



Figura 45, Fotografía que muestra una dolomia microcristalina, cristales de tamaño entre 5 a 50 μm . Formación Barcaliente, (Carbonífero), Leon – España. (Dunham 1962).

2.2.7 Ambientes Sedimentarios

2.2.7.1 Estructuras Sedimentarias (Figura 46)

- Estructura Geopetal son frecuentes en el relleno de poros en rocas carbonáticas, con sedimento interno en la parte inferior y cemento en la superior, se pueden usar como criterio de polaridad.

- Las bioturbaciones con su termino en inglés burrow, son las alteración de las texturas originales de un sedimento por la actividad orgánica.
- Perforaciones, son estructuras generadas por organismos que perforan sustratos duros y dejan hoyos que son rellenos por diferente tipo de sedimento



Figura 46, Fotografía izquierda molde de bioturbación de callianassa, Bahamas. Fotografía derecha superior estructura de perforaciones en rocas del Pleistoceno de Florida, Fotografía derecha inferior, estructural geopetal. (Eberli, 2012).

2.2.7.2 Geometría de los depósitos carbonáticos

Está relacionada directamente a la producción de carbonatos y a la hidrodinámica de la columna de agua. (Schlager, 2005).

2.2.7.3 Principios de Generación

- El rico se hace más rico: Las fábricas carbonáticas construyen acumulaciones elevadas y localizadas debido a que la precipitación biótica y abiótica operen mejor en lugares donde sedimentos de otros tipos no llegan. Una vez que la acumulación se eleva por encima del fondo marino se acelera la construcción de la acumulación, (Schlanger, 2005)

- El mar es el límite: La producción de carbonatos es mayor en la parte superior de la columna de agua, el ambiente terrestre por encima es perjudicial razón por la cual las acumulaciones carbonáticas tienden a construir plataformas de techo plano, cercanas al nivel del mar, las olas y mareas redistribuyen los sedimentos, (Schlanger, 2005)
- “El principio del balde”, El límite del tope de la plataforma es modelado por olas y el talud es modelado por transporte gravitacional. El límite externo del tope de la plataforma barrida por olas es la ubicación preferida de los organismos constructores, (Schlanger, 2005).

2.2.7.4 Geometrías de los depósitos carbonáticos, (Schlanger, 2005)

- Abultamientos carbonáticos (*Build up*), Es el cuerpo carbonático que se eleva por encima del fondo del mar de acuerdo al principio “el rico se hace más rico” se usa para todas las escalas.
- Arrecifes, Abultamiento resistente a las olas, formando en la interacción de construcción de estructuras orgánicas, erosión, sedimentación y cementación.
- Montículo, Estructura submarina tipo colina redondeada, compuesta de material esquelético o automícrita de origen predominantemente microbial.
- Relación de Fábricas con Geometría de Plataformas y Rampas.
- Fábrica trópic (T), produce plataformas bordeadas por arrecifes o bancos de arenas carbonáticas.
- Fábrica templada a fría (C), no construye bordes en alta mar poco profundo, solo dispersa montones de esqueletos. La geometría de las acumulaciones es de una rampa con las más altas condiciones de energía de cerca de la costa.
- Fábrica biótica inducida (M), forma montículos convexos en las pendientes de la zona de acción de las olas (Figura 47)

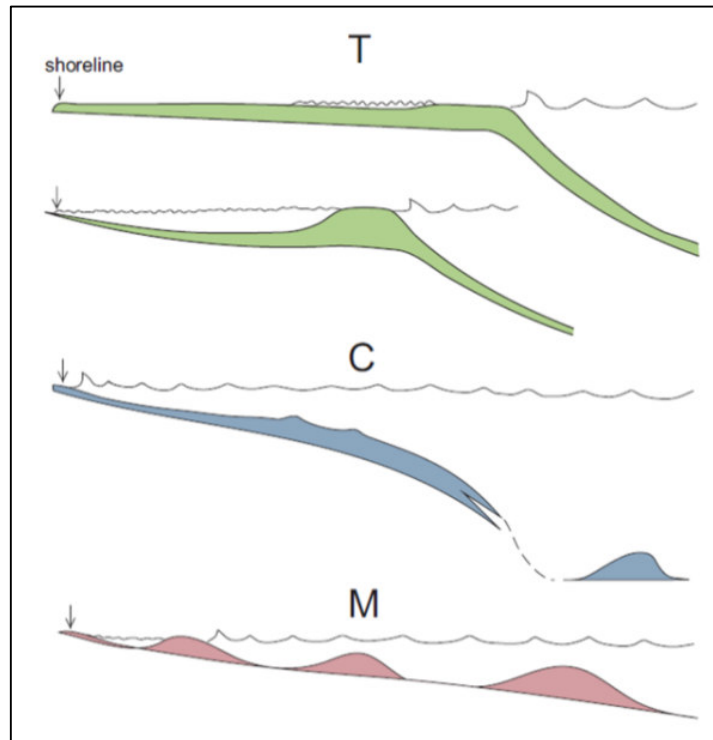


Figura 47, muestra clasificación por tipo de fábrica, la forma y la geometría de plataforma o rampa que se construye. (Schlager, 2005).

2.2.7.5 Clasificación de Rampas y Plataformas

Tipos de Rampas y plataformas (Figura 48)

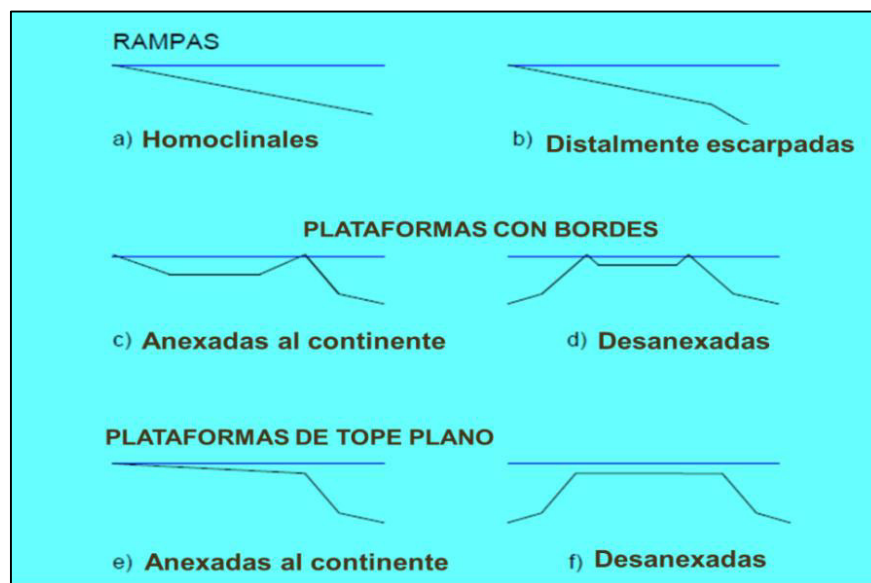


Figura 48, Muestra los diferentes tipos de rampas y plataformas de acuerdo a su forma geométrica. (Schlager, 2005).

Zonificación dentro de una rampa carbonática (Figura 49).

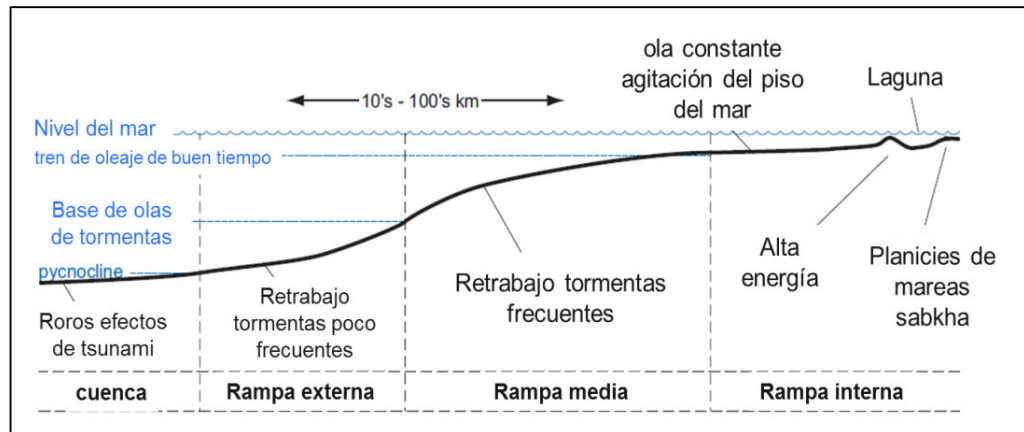


Figura 49, Esquema de zonificación de rampa carbonática y los fenómenos de trabajo de olas, tormentas y mareas. (Schlager, 2005).

Modelo de facies sedimentarias para rampas y plataformas carbonáticas (Figuras 50, 51, 52).

El modelo de facies estándar de Wilson (1975) resulta de una combinación de efectos de la pendiente, edad, energía del agua y clima, en donde las características del depósito también son afectadas por el aporte de clásticos. Este modelo define 9 facies en un perfil de plataforma con un margen y pendiente ligera.

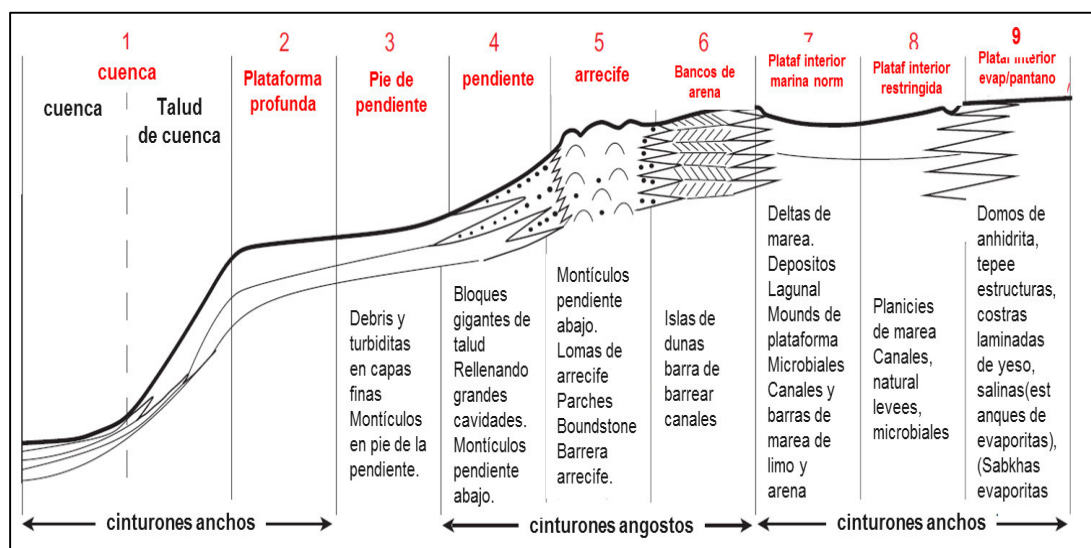


Figura 50, Esquema de modelo de facies estándar para rampas y plataformas carbonáticas de fábrica tropical (T). modificado de (Wilson, 1975) por (Schlager, 2005).

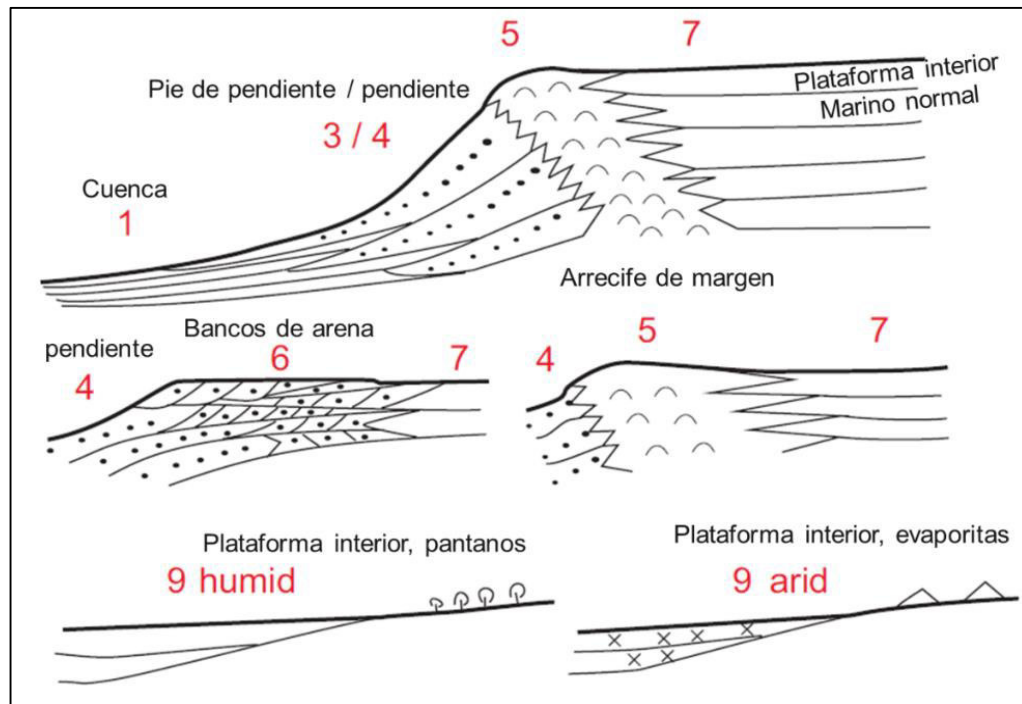


Figura 51, Esquema de detalles de modelo de facies estándar para rampas y plataformas carbonáticas de fábrica tropical (T). (Schlager, 2005).

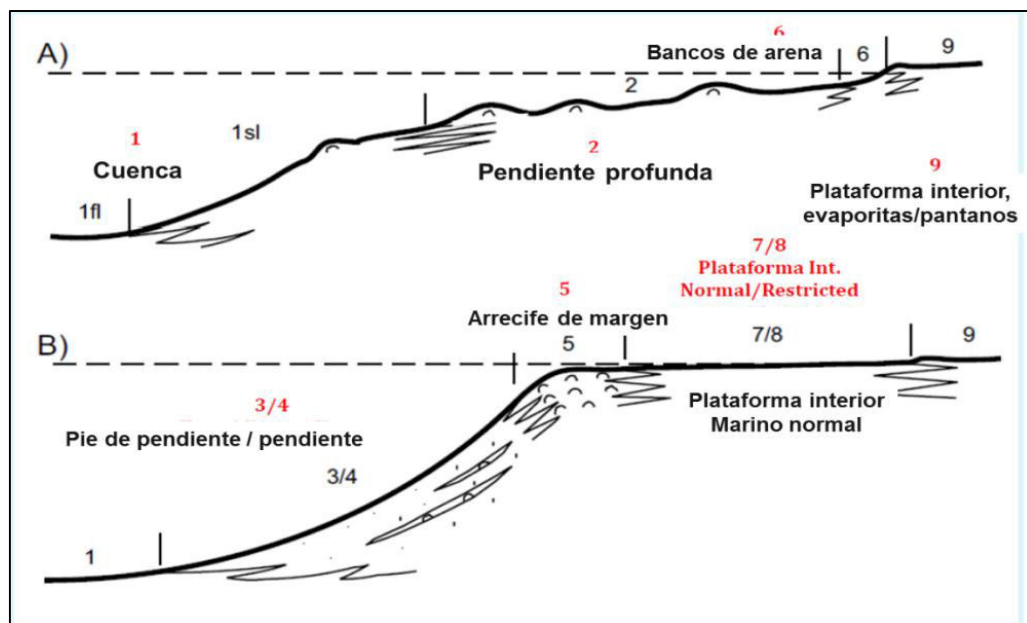


Figura 52, Esquema de modelo de facies estándar para rampas y plataformas carbonáticas de fábrica subtropical (C) y tipo (M). (Schlager, 2005).

2.2.7.6 Tipos de estructuras o construcciones Carbonáticas.

Bioherma y Biostroma. (Cumings, 1932)

Bioherma: Sinónimo de “arrecife” el cual consiste en un abultamiento orgánico con geometría en forma de montículo o lensoidal en sección vertical.

Biostromas son considerados como capas orgánicas simples (estratos), tipos: (Figura 53)

- Biostroma: Estructuras no arrecifales definidas principalmente por la falta de relieve topográfico.
- Autobiostroma: Estructura donde el organismo constructor se encuentra principalmente in situ.
- Parabiostroma: Estructura donde el organismo constructor se encuentra principalmente como detrito.
- Autoparabiostroma: Intermedio entre los otros dos (auto y Para).
- Allobiostroma: Biostroma formado a partir de material derivado de una fuente alóctona.

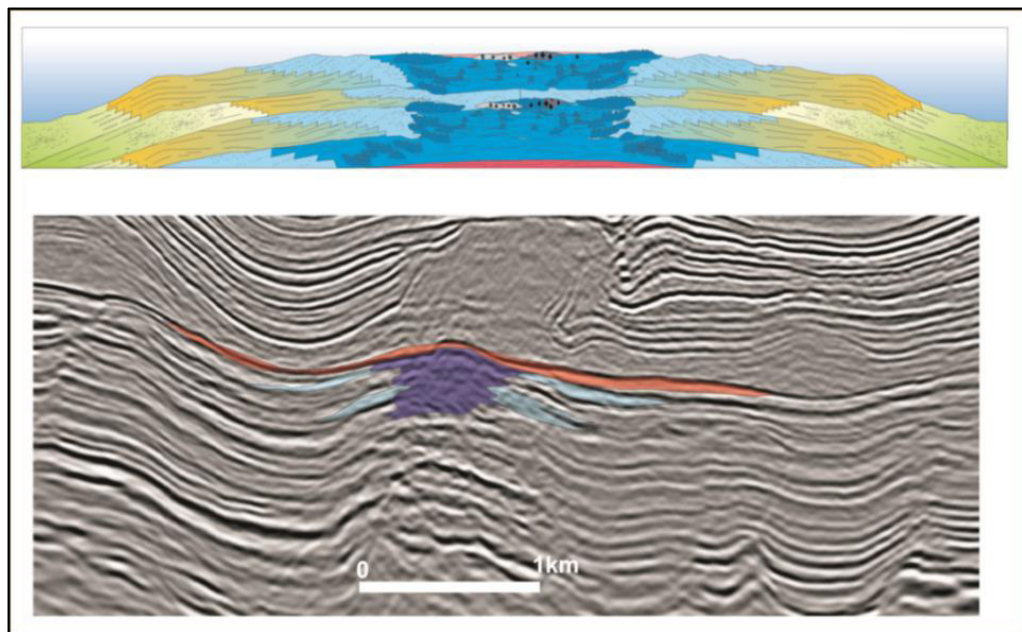


Figura 53, Muestra esquema de formas de bioconstrucciones generadas por microbiales del Pre Sal – Brasil. (Petrobras, 2010).

2.2.7.7 Depósitos de los carbonatos

- Talud y aguas profundas: Se depositan sedimentos pelágicos, turbiditas y flujos de detritos.
 - Margen de plataforma: Se depositan arrecifes, abultamientos orgánicos, arenas calcáreas.
 - Plataforma interior: Depósitos mareales, estuarinos, bahías.
 - Terrestre: Dunas, Depósitos lagunares, cavernas, suelos, fanglomerados.
- (Figura 54)

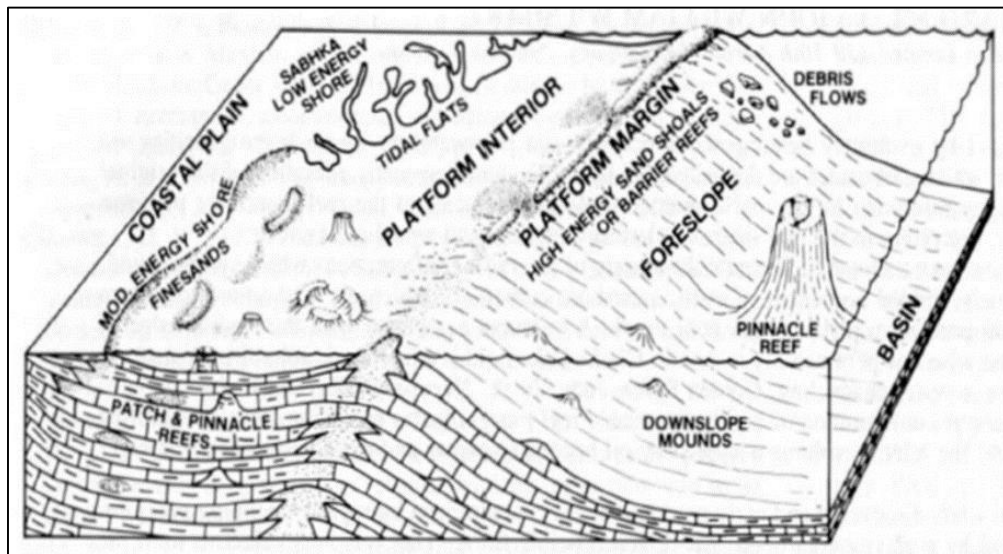


Figura 54, Block esquema de depósitos de carbonatos tomado de (Jardine & Wishart, 1987).

2.2.7.8 Descripción de partes de la plataforma carbonática trópic (T)

- Zona protegida (Back reef): Los sedimentos en el back reef están formados por arrecifes localizados (Patch reef) que crecen como carpetas y por detritos esqueléticos que son transportados a partir de la cresta del arrecife, los patch reef tienden a ser masivos y de formas lenticulares, mientras que los sedimentos adyacentes del back reef están bioturbados, ampliamente distribuidos y de geometría tabular, variando el tamaño de los sedimentos de arena a fango (Figuras 55 y 56).



Figura 55, Imagen satelital del área del Caribe, Florida – Cuba donde se desarrolla actualmente la fábrica trópic (T) de carbonatos de Bahamas, (Petrobras 2012),

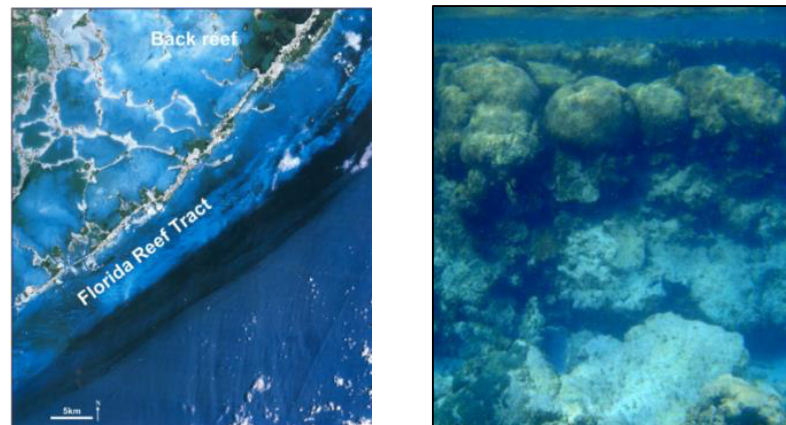


Figura 56, Izquierda imagen satelital de la plataforma de Florida donde se aprecia el back reef y reef actual. Derecha fotografía de detalle del arrecife de coral de Bahamas. (Petrobras, 2012).

Las Islas de barrera o playa: Aparecen justo detrás de la cresta del arrecife y tienen características similares a una isla de barrera clásica. Un complejo de cuerpos de arena carbonáticas lineares se forman paralelas al rumbo depositacional. El lado que da al mar tiende a ser suave, pero los abanicos de tormentas y deltas de flujo de marea le dan un aspecto irregular hacia el lado del continente, las estructuras son areniscas carbonáticas con estratificación entrecruzada en la cara de playa, calizas con birdeye, estromatolitos y capas de tormenta, (Figura 57).



Figura 57, Fotografía de cadena de islas Exuma- Gaulin Cay y Bitter Guana, carbonato de Bahamas. (Petrobras 2012).

Bancos de lodos esqueletales: Los bancos actuales se forman donde existen plantas marinas (*sea grass*) y algas verdes calcáreas que unen y atrapan sedimentos finos derivados de la rotura de las mismas en ambientes turbulentos (Figura 58).



Figura 58, Fotografía aérea de la planicie de marea lodosa, plataforma interior y playa de Andros, carbonato de Bahamas. (Petrobras 2012).

Pináculos – *Patch reef* y Montículos: Los pináculos se forman durante un ascenso del nivel del mar relativamente rápido y cuando la producción de carbonatos solo localmente puede seguir el paso del ascenso. Los pináculos y *patch reef* son bioconstrucciones mientras que los montículos son acumulaciones de fango automicrita (Figuras 59 y 60).

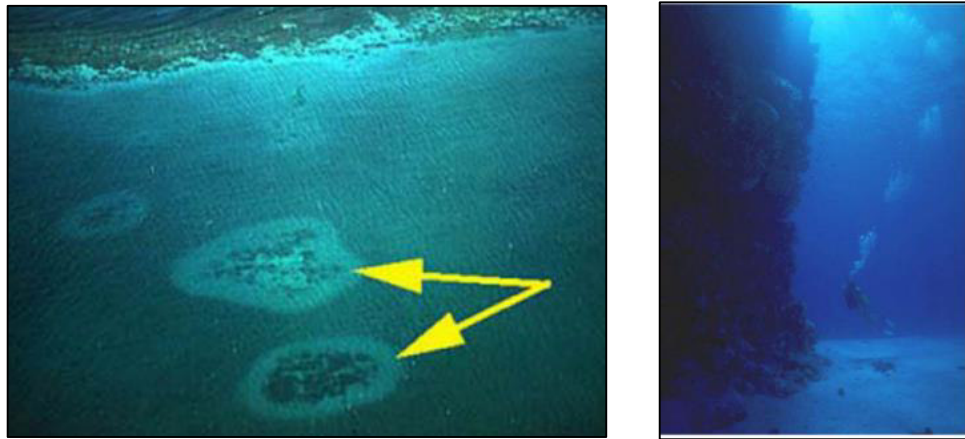


Figura 59, Fotografía izquierda muestra una bioconstrucción *Patch reef* Fotografía derecha muestra una bioconstrucción *Pináculo reef* Carbonato Bahamas (Petrobras 2012).

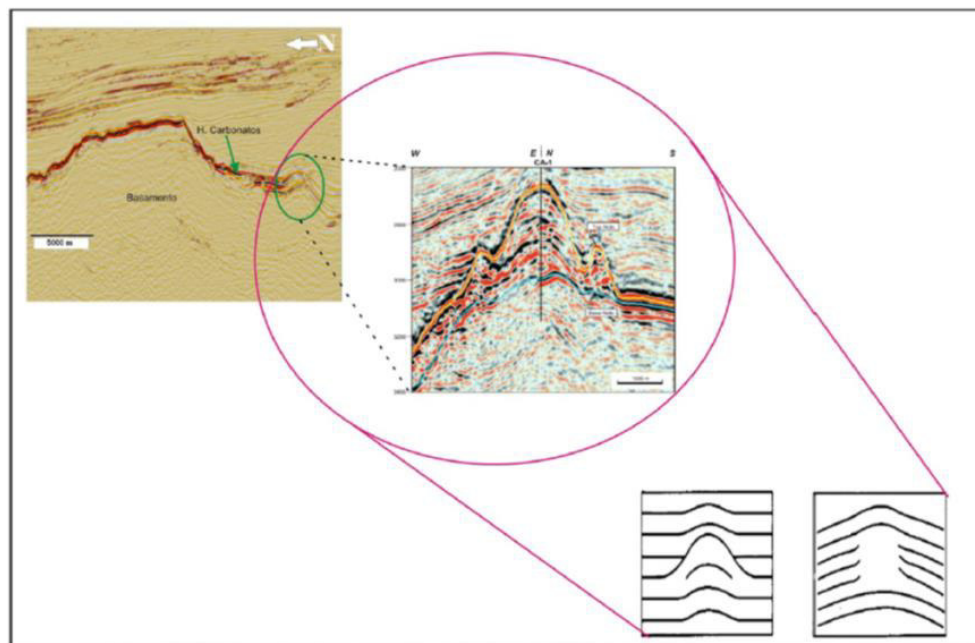


Figura 60, Muestra Similitud sísmica y morfológica del pináculo de la Baja Guajira Colombia con el pináculo del campo Malampaya en Filipinas, (Neuhaus, 2004).

- Arenas carbonáticas (*sand shoals*): Las acumulaciones de arenas carbonáticas aparecen cerca de los bordes del lado marino de bancos y plataformas, menos común se forman en el interior de la plataforma y sobre altos topográficos en aguas profundas. En corta distancia pasan a otras facies carbonáticas (Figuras 61 y 62)



Figura 61, Fotografía izquierda muestra arena (sandwave) formada por acción de las mareas, se observa migración para la derecha. Fotografía derecha muestra arenas carbonáticas de Florida, (Petrobras 2012).

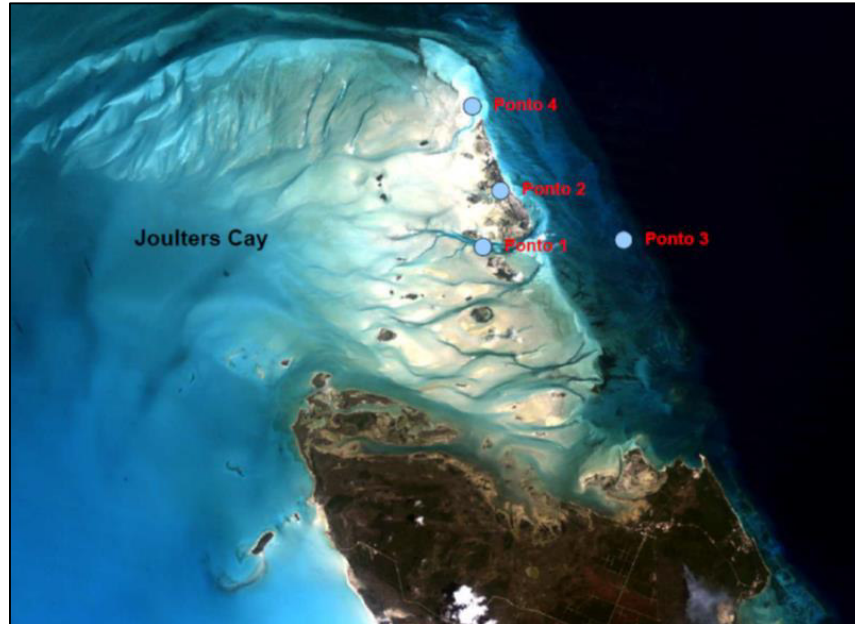


Figura 62, Fotografía de un banco de arenas oolíticas y canales mareales – Joulter's Cay. Bahamas. (Petrobras 2012).

2.2.8 Estratigrafía de Secuencias

2.2.8.1 Historia

- Hasta los años 1960:
- Predominio de la Litoestratigrafía y Bioestratigrafía
- Concepto de secuencia: Sloss et al., (1949)
- Entre los años 1960 y 1970
- Evolución de la Sedimentología
- Inicio de la Sismoestratigrafía
- Desarrollo de la Tectónica de placas

2.2.8.2 Conceptos

Existen diversos métodos de análisis estratigráfico, tal como, la Estratigrafía de Secuencias. A lo largo de los últimos veinte años, ha sido de amplia aplicación por diversos geocientíficos como el método más eficaz para el entendimiento del registro geológico de rocas sedimentarias. Lo fundamental de la Estratigrafía de Secuencias es que su aplicación implica la integración de diversos datos y métodos de investigación, aprovechando ideas de una gama de disciplinas e, invariablemente, llevando las interpretaciones más robustas y, consecuentemente, al progreso científico. (Catuneanu, 2006).

La mayoría de los criterios involucrados en la interpretación de superficies estratigráficas gira en torno de la naturaleza de las facies sedimentarias o los patrones de apilamiento de facies que están en contacto a través de la superficie en definición. Esto requiere un buen análisis de facies y una muy buena comprensión de los procesos depositacionales y de los ambientes de sedimentación. Estos contactos representan superficies delimitadoras que marcan cambios significativos en los regímenes de sedimentación y son importantes para la correlación regional, así como para el entendimiento de la evolución deposicional de los intervalos sedimentarios en estudio. El estudio de estos contactos estratigráficos no puede, ser aislado del análisis de las facies, dado que fortalece los criterios diagnósticos para el reconocimiento de las superficies limitantes. (Catuneanu, 2006).

Las disciplinas clásicas de Estratigrafía tales como bioestratigrafía, litoestratigrafía, quimioestratigrafía y magnetoestratigrafía contienen datos e interpretaciones necesariamente deben ser utilizados para conceptualizar y establecer las correlaciones estratigráficas. En contraste, las correlaciones en Estratigrafía de Secuencias dependen de la interpretación y del desarrollo de la metodología que aborda situaciones como, por ejemplo, la reconstrucción de los controles sedimentarios en la época de la sedimentación. (Catuneanu, 2006).

La Estratigrafía de Secuencias es una metodología de análisis que desarrolla una sistemática para la subdivisión del relleno de una cuenca sedimentaria en Secuencias genéticamente relacionadas y limitadas en el tope por superficies clave.

Resumiendo la estratigrafía de Secuencias, es una metodología de trabajo que:

- Da énfasis e importancia a los cambios en el registro estratigráfico
- Fortalece un almacén de elementos de cualquier contexto deposicional, facilitando reconstrucciones y predicciones de facies y litologías más allá de los puntos de control. Este almacén vincula patrones de apilamiento como respuestas de las variaciones del espacio de acomodación y el aporte sedimentario a lo largo del tiempo.
- Este almacén o modelo posibilita predecir la distribución de los sistemas depositacionales a través del tiempo y espacio. Este análisis mejora con la integración de los procesos de sedimentología con el entendimiento de las geometrías y las escalas de los componentes de los elementos depositacionales. (Catuneanu, 2011).

La Estratigrafía de Secuencias tiene un carácter genético y es una metodología que lleva a una mejor comprensión de como las unidades estratigráficas, facies y elementos depositacionales se relacionan en el tiempo y el espacio dentro de las cuencas sedimentarias y se debe desarrollar integrada a otras disciplinas, solo así se puede lograr que sea un método confiable y predictivo para la exploración y desarrollo de recursos naturales (Figuras 63, 64 y 65)

Espacio de Acomodación, es el espacio disponible para ser rellenado por sedimentos. (Jervy, 1988).

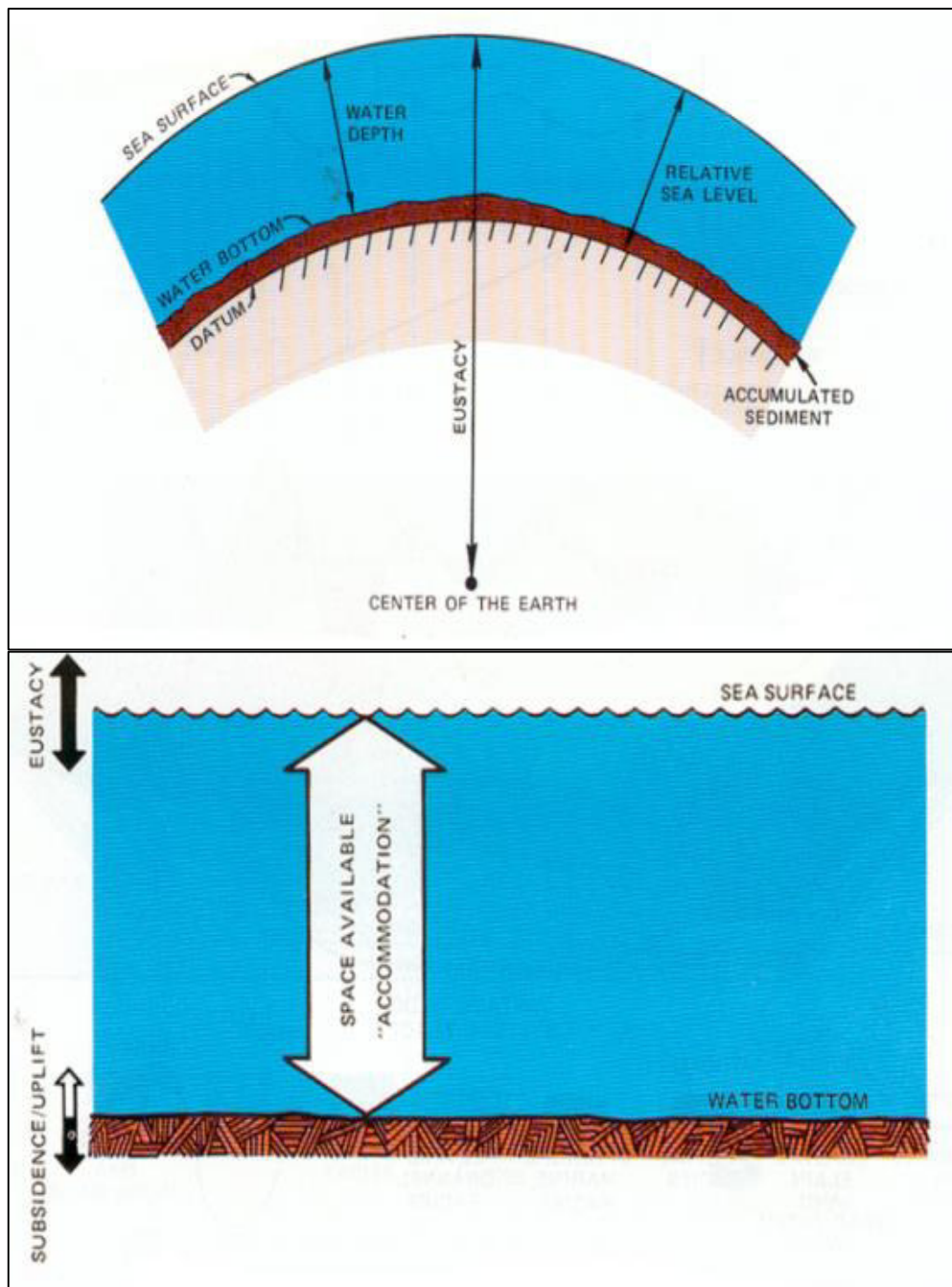


Figura 63, Esquema de las variaciones del nivel relativo del mar: Distancia entre la superficie del mar y un dato local. Es una función del movimiento en la superficie del mar (eustatismo) y el piso de la cuenca (tectónica), (Catuneanu, 2006).

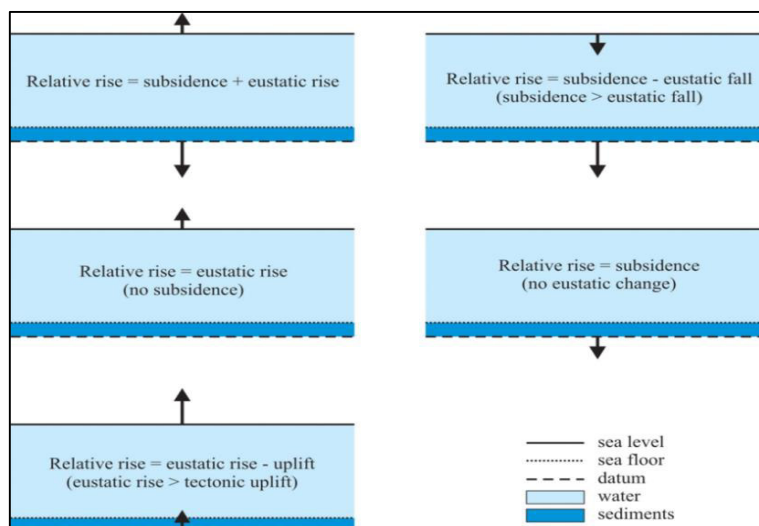


Figura 64, Muestra gráfica que expresa los cambios por la subida relativa del nivel del mar (semejante a cambio de nivel de base) (Catuneanu, 2006).

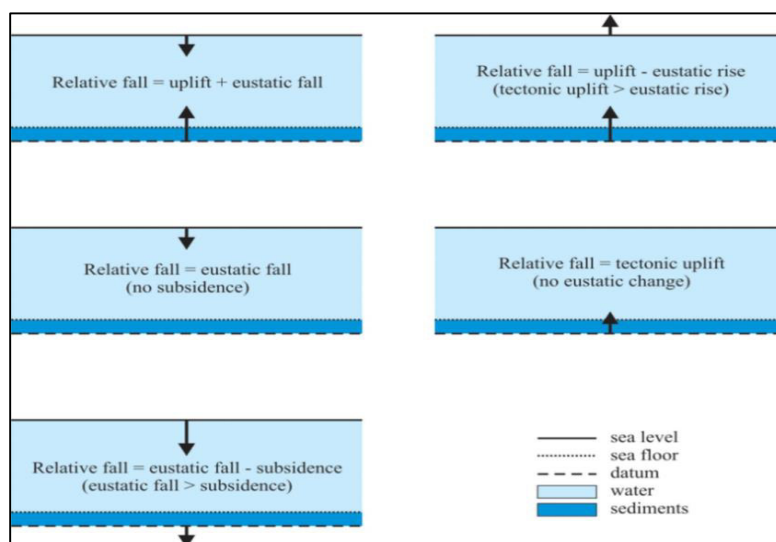


Figura 65, Muestra gráfica que expresa los cambios por la caída relativa del nivel del mar (semejante a cambio de nivel de base) (Catuneanu, 2006).

Eustatismo: Se refiere a la posición de la superficie del mar en referencia a un dato fijo (centro de la tierra).

Los cambios eustáticos son originados por cambios en el volumen de las cuencas (tectono-eustatismo) o en el volumen de las aguas oceánicas (glacio-eustatismo).

La subida relativa del nivel de base genera espacio de acomodación y deposición.

La caída relativa del nivel de base disminuye espacio de acomodación y genera erosión (Figura 66).

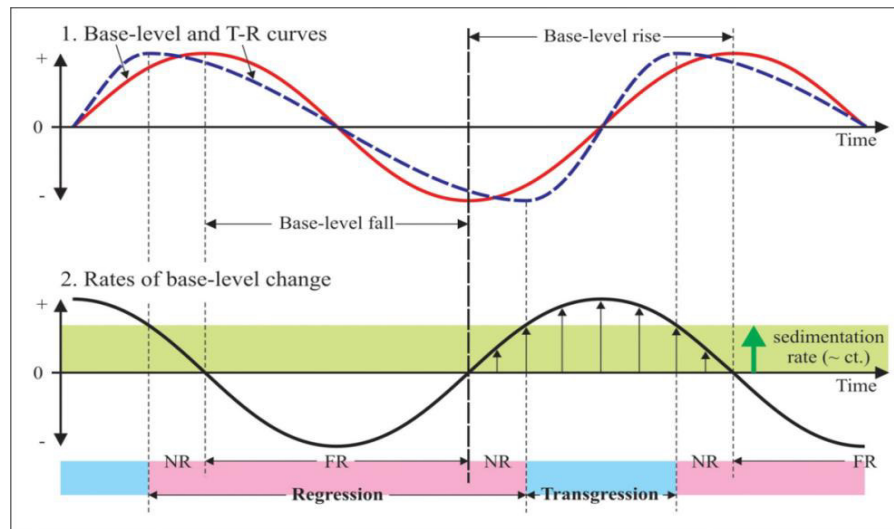


Figura 66, Muestra la interacción entre la tasa de acomodación y la tasa de influjo sedimentario determina la trayectoria del desplazamiento de la línea de costa: Transgresión por Regresione tomada de (Catuneanu, 2010).

El relleno de una cuenca tiene tres procesos que la gobiernan: la eustatismo, tectónica y el clima, los dos primeros influyen en los cambios del nivel relativo del mar y generan los patrones de acomodación o apilamiento de las rocas como se muestra en la Figura 67.

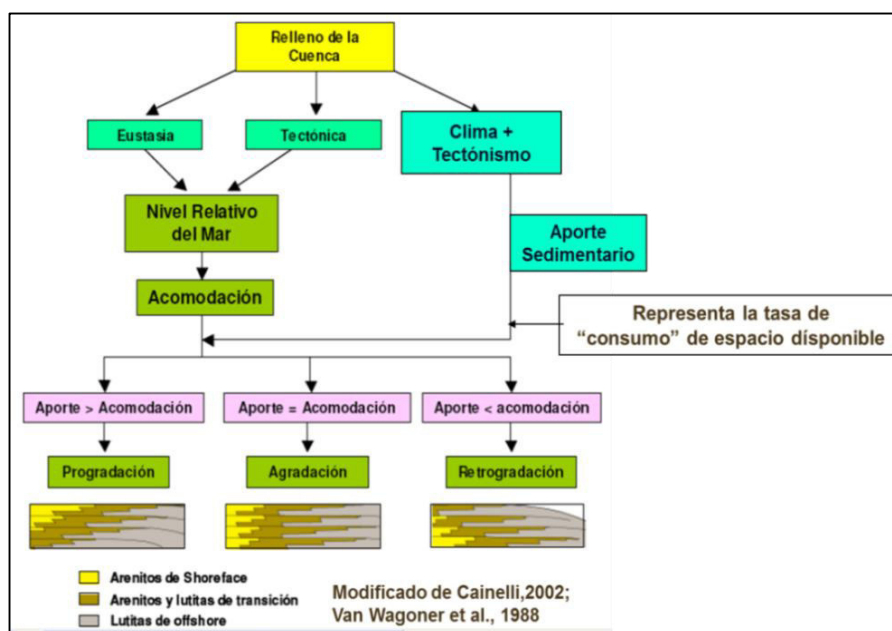


Figura 67, Muestra las relaciones para la determinación de los patrones de apilamiento. (Catuneanu, 2010).

Fluctuaciones del nivel relativo del mar: (Figura 68)

- La fluctuación del nivel del mar es modelada como una curva sinusoidal.
- Los puntos de inflexión representan las posiciones en la curva donde la tasa de cambio del nivel del mar es máximo.
- El punto de inflexión R representa la parte mas inclinada de la curva durante la subida del nivel del mar (máxima tasa de creación de espacio de acomodación).
- El punto de inflexión F representa la parte mas inclinada de la curva durante la caída del nivel del mar (mínima tasa de creación de espacio de acomodación y cuando la tasa de caída eustática supera la tasa de subsidencia, ocurre perdida de espacio de acomodación).
- Influjos Sedimentarios: Es considerado constante en Estratigrafía de Secuencias.

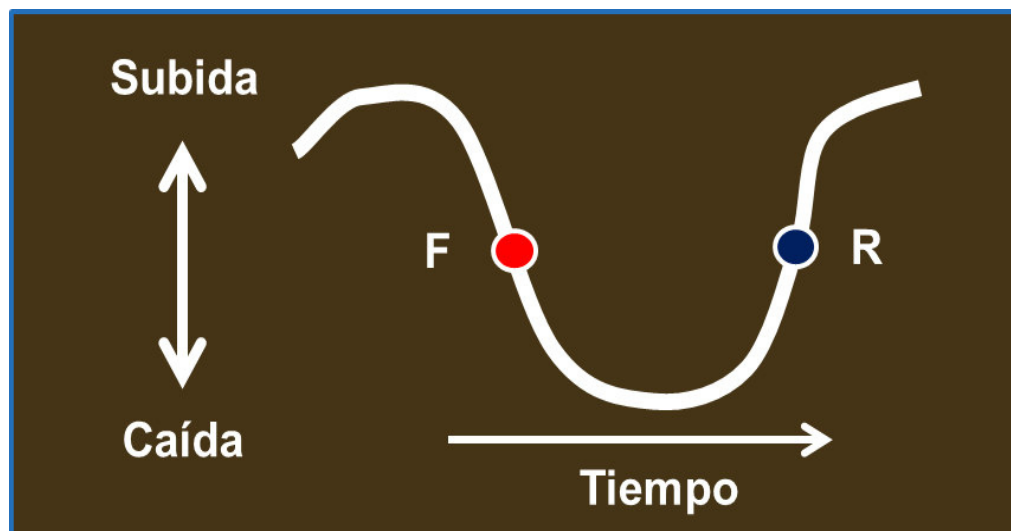


Figura 68, Muestra curva sinusoidal de variación del nivel de base. (Raja Gabaglia et al. 2006).

2.2.8.3 ¿Qué es una Secuencia? Antecedentes históricos

- 1940s Antiguamente se consideraba que una unidad estratigráfica definida está limitada por discordancias. (Sloss et al., 1949; Sloss, 1963). Escala Segundo Orden entre 3 a 50 Ma. (Vail et al. 1991).
- 1970s Una relativa sucesión conformable de estratos genéticamente relacionados y encerrados por discordancias o sus conformidades

correlativas, (Mitchum, 1977). Escala Tercer Orden entre 500,000 años a 3 Ma. (Vail et al. 1991).

- 2000s Una sucesión de estratos depositados durante u ciclo lleno de cambios en la acomodación del aporte sedimentario. (Catuneanu, 2009, 2010, 2011). Cuarto Orden y menor entre 80,000 a 500,000 años (Vail et al. 1991).
- En la actualidad, Es un ciclo de cambios en el patron de apilamiento definido por superficies estratigráficas recurrentes en el registro de la roca. , “A cycle of changing in stacking pattern defined by recurring stratigraphic surfaces in the rock record” . Cuarto Orden y menor. (Catuneanu & Zecchin, 2013). (Figura 69).

La estratigrafía de secuencias esta basada en el reconocimiento de superficies estratigráficas en el registro geológico y no en la interpretación del origen de los ciclos.

Las superficies son marcadas cuando ocurren cambios de patrones de apilamiento durante la regresión normal (NR), la regresión forzada (FR) y transgresivo (T).

Las superficies son independientes de la escala y jerarquía las cuales deben ser mapeables. (Raja Gabaglia et al. 2006).

La estratigrafía de Secuencias es una metodología independiente de modelo porque:

- Se basa en la observación de los patrones de apilamiento y de superficies claves que limitan la sucesión de estratos definidos por los patrones de apilamiento.
- Se escoge los límites de secuencias dependiendo de cual superficie es la mejor observada en el área de estudio.
- Depende del contexto tectónico, sistema depositacional, tipos de datos disponibles y la escala de observación. (Catuneanu et al, 2011).

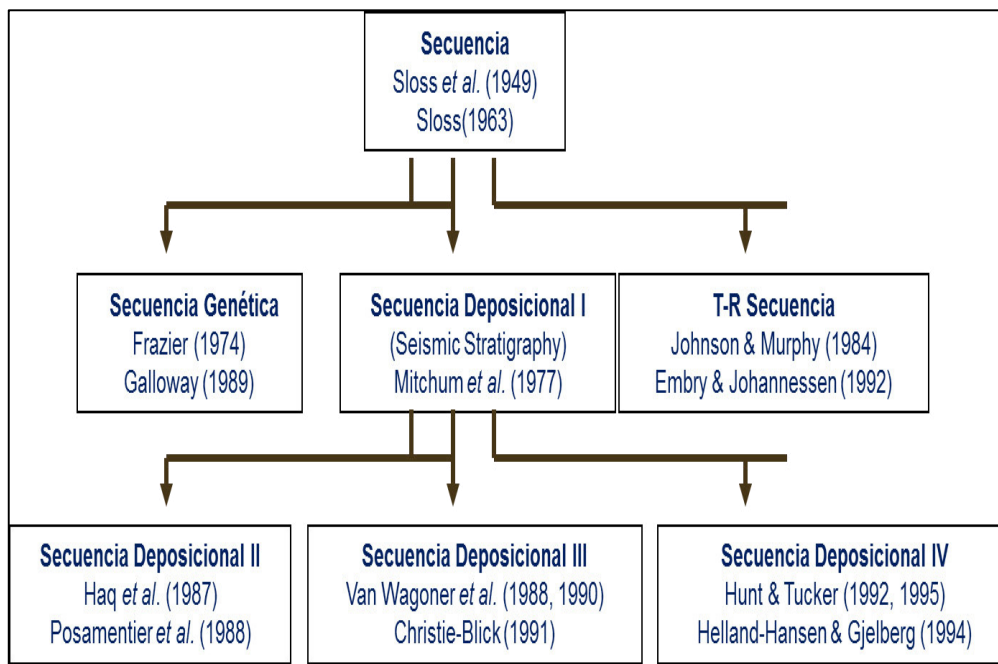


Figura 69, Muestra evolución del concepto de Secuencia. (Zecchin & Catuneanu, 2013).

Orden – Jerarquía de las Secuencias.

Es importante recordar los siguientes conceptos para poder definir el orden o jerarquía de trabajo (Figuras 70, 71 y 72).

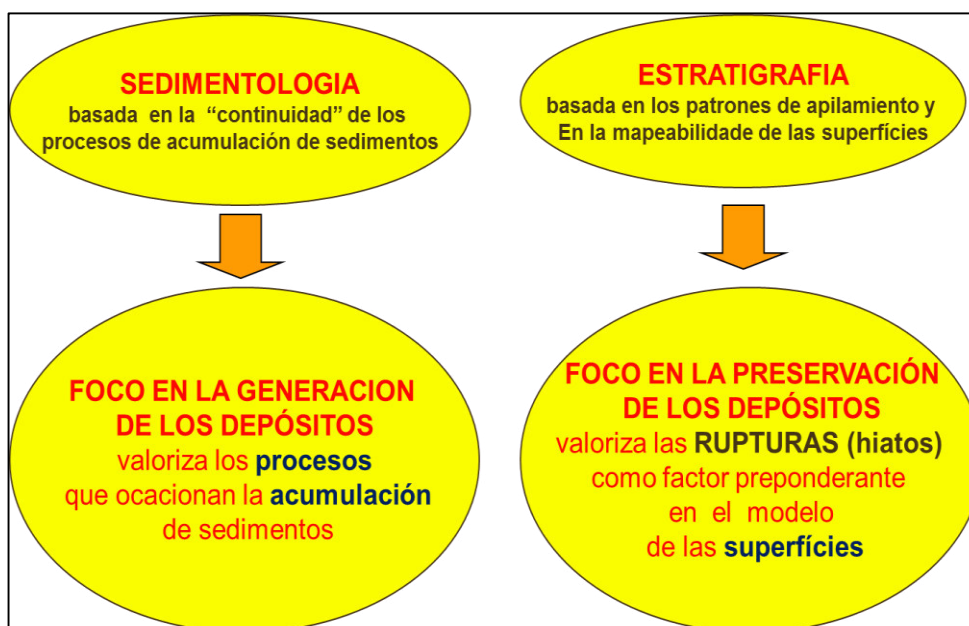


Figura 70, Evolución de los conceptos para la definición el orden o jerarquía de las secuencias. (Raja Gabaglia, 2011).

2.2.8.4 Autogénesis y Alogénesis

Autogénesis: Es cuando se produce la redistribución interna de los elementos depositacionales en los sistemas, sin variaciones significativas de la energía total y del aporte sedimentario. Ejemplo: avances y migración lateral; avances concordantes de barras de desembocadura; reactivaciones de canales en los channel belts.

Alogénesis: Es cuando se produce la redistribución interna de los elementos depositacionales / arquitecturales en los sistemas, con variaciones significativas de la energía total y del aporte sedimentario provocadas por factores externos a esos sistemas (eustatismo, subsidencia, clima, uplift, etc). Ejemplo: rupturas en el proceso de migración de barras; alternancia de elementos arquitecturales de distintas posiciones del sistema depositacional; valles incisos.

Lo importante como ejercicio metodológico es la jerarquización de los paquetes rocosos y así poder definir que algunas sucesiones son mas importante que otras y/o amplias en presencia areal que otras, en función de la magnitud de las variaciones del nivel de base.

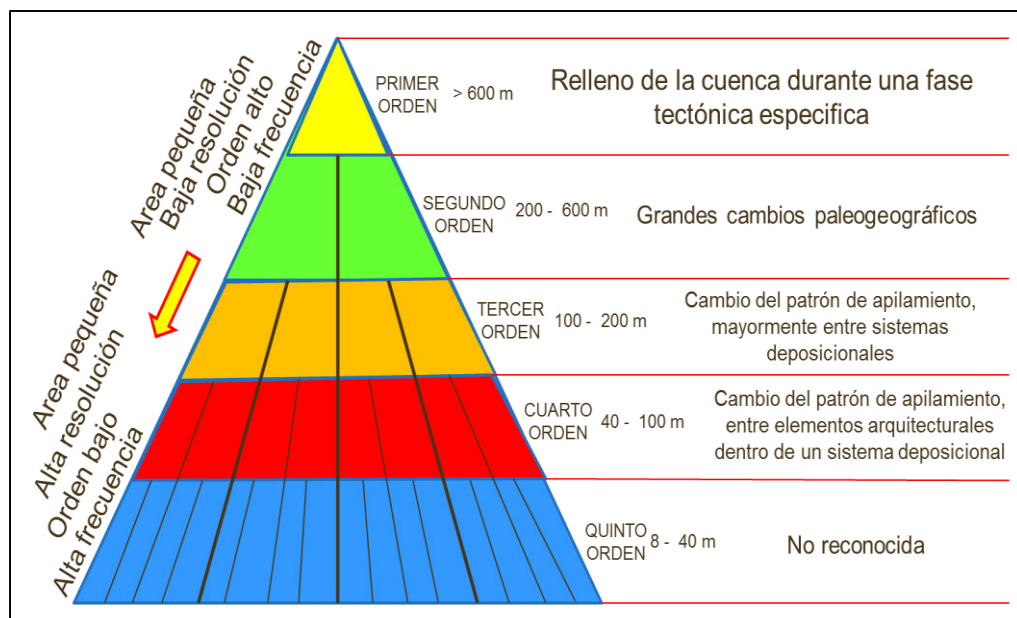


Figura 71, Muestra los criterios para la jerarquización de las Secuencias, en los cambios de patrón de apilamiento (Raja Gabaglia et al., 2006, 2011) a diferencia de las ordenes en años usadas por (Vail et al. 1991)

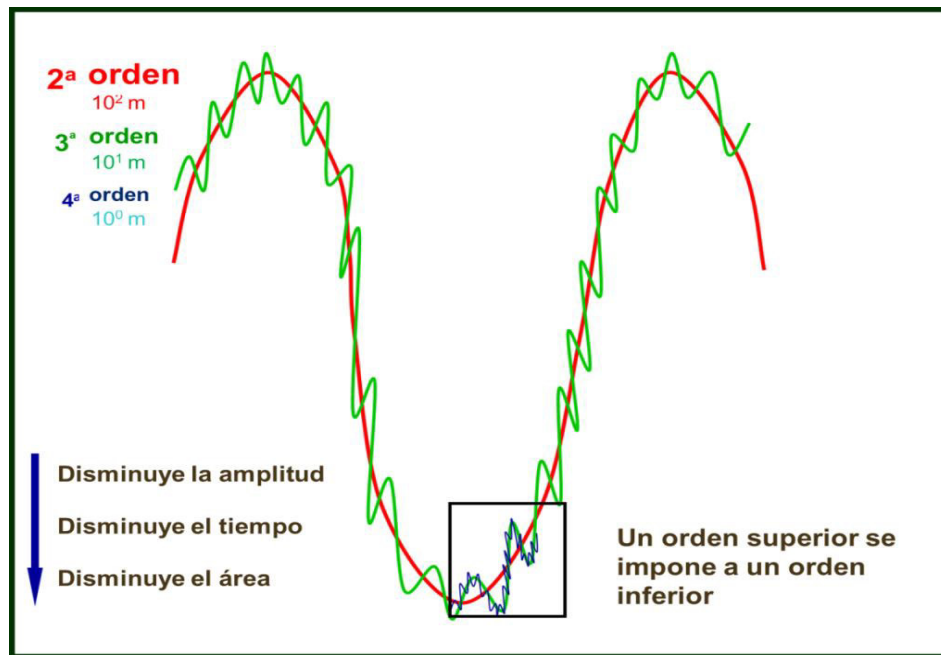


Figura 72, Muestra esquemáticamente la curva de variación eustática en los diferentes órdenes de secuencias. Modificada de (Catuneanu, 2006) por (Raja Gabaglia et al., 2006).

2.2.8.5 Tipos y Definiciones de Secuencias

- Secuencia Estratigráfica: Un ciclo de cambio en el patrón de replanteamiento definido por superficies estratigráficas recurrentes en el registro sedimentario. (Zecchin & Catuneanu, 2013).
- Secuencia Depositacional: Una unidad estratigráfica limitada por discordancias subaéreas y sus concordancias correlativas marinas. (Vail, 1987; Posamentier et al. 1988; Van Wagoner et al, 1988,1990; Vail et al, 1991; Hunt & Tucker 1992, Catuneanu, 2006).
- Secuencia Genética: Una unidad estratigráfica limitada por superficies de inundación máxima. (Galloway, 1989).
- Secuencia Transgresión – Regresión: Una unidad estratigráfica limitada por una superficie compuesta que incluye una discordancia subaérea y una porción marina de la superficie de regresión máxima. (Embry & Johannessen 1992). (Figura 73).

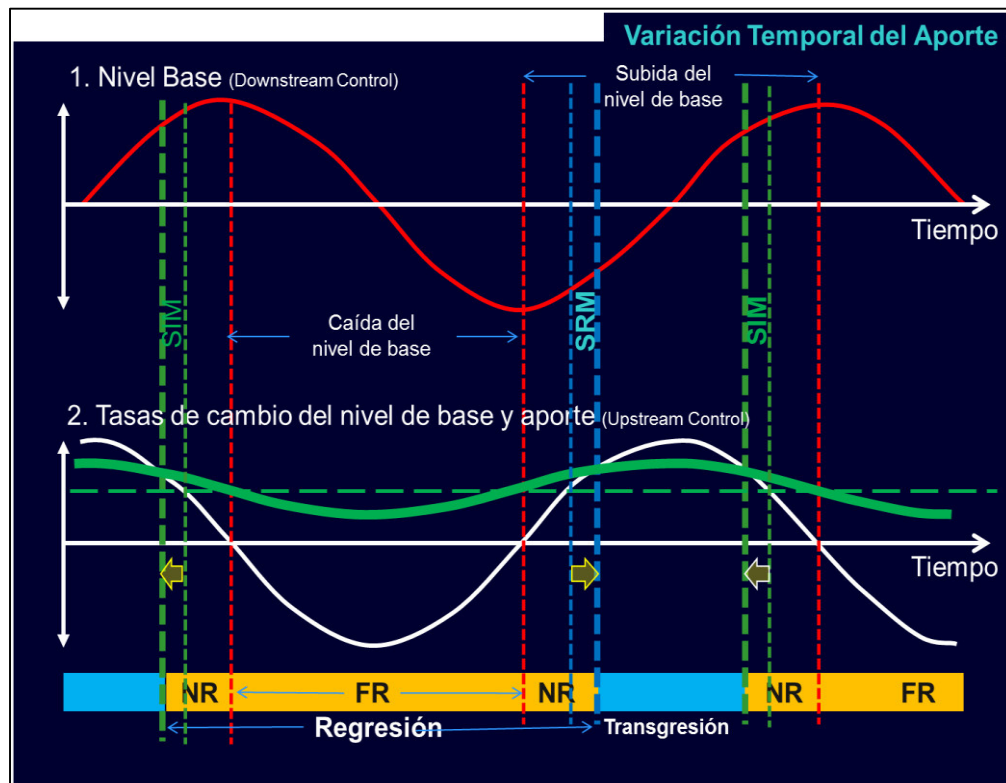


Figura 73, Muestra gráfico de curvas de variación del nivel de base y curvas de variación de las tasas de cambio del nivel de base y aporte, ubicación de superficies estratigráficas de la Secuencia. (Catuneanu, 2010).

Regresión Normal versus Regresión Forzada

Regresiones normales suceden durante las etapas finales e iniciales, de subida del nivel de base cuando las tasas de sedimentación superan la tasa de subida del nivel de base en la línea de costa (Figura 74)

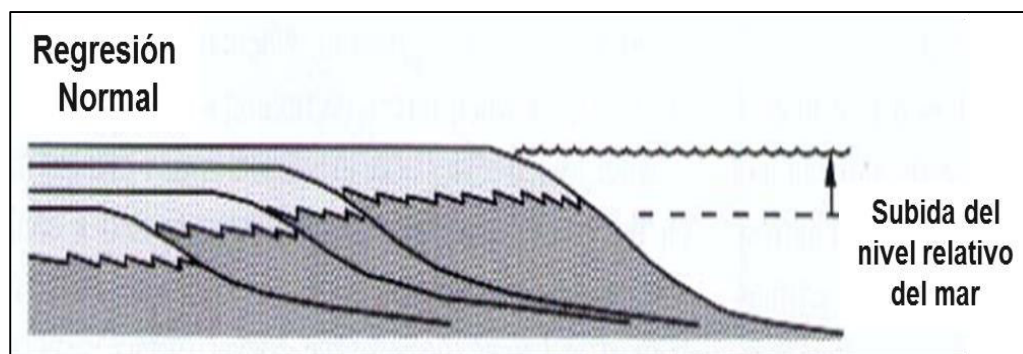


Figura 74, Muestra gráfico esquemático de la regresión normal. (Catuneanu, 2006).

Regresiones forzadas suceden durante las etapas de caída del nivel de base cuando la línea de costa es forzada a retroceder por la caída del nivel del mar, independiente del aporte sedimentario (Figura 75)

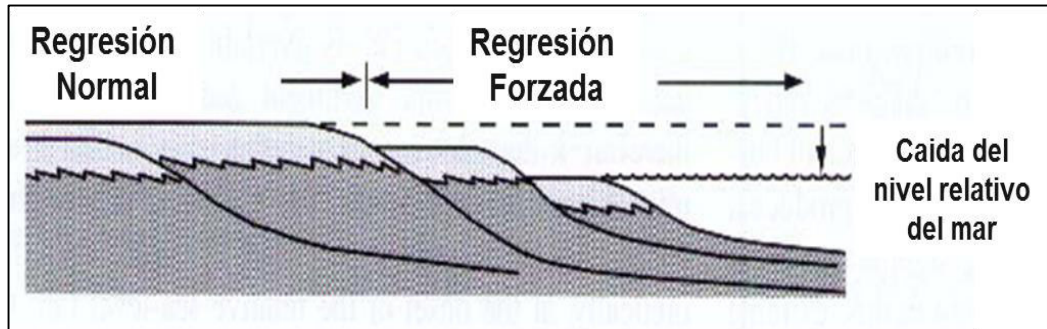


Figura 75, Muestra gráfico esquemático de la regresión normal y posterior regresión forzada. (Catuneanu, 2006).

2.2.8.6 Sistemas encadenados deposicionales

Reunión de sistemas deposicionales contemporáneos formando la subdivisión de una secuencia. (Brown & Fisher, 1977). (Figura 76)

1. Sistema encadenado de mar alto. (HST). *Highstand systems tract*
2. Sistema encadenado de fase de caída. (FSST). *Falling stage systems tract*
3. Sistema encadenado de nivel bajo. (LST). *Lowstand systems tract*
4. Sistema encadenado transgresivo. (TS). *Transgression systems tract*

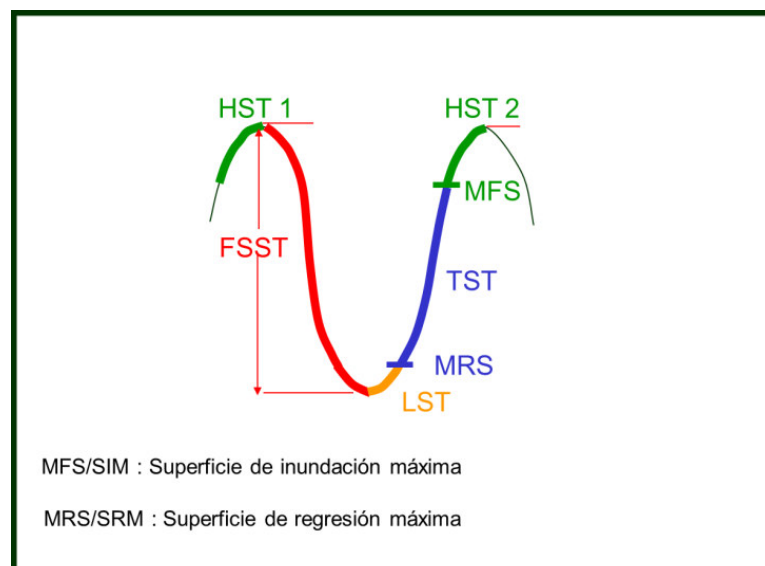


Figura 76, Muestra gráfico de curva de variación del nivel relativo del mar, donde cada sistema encadenado está representado en un segmento específico y limitado por una superficie estratigráfica. (Raja Gabaglia et al. 2006).

2.2.8.6.1 Superficies Estratigráficas

Límite de Secuencia (LS) (*Sequence Boundary SB*), Es la superficie generada por la discordancia subaerea, en casos limita el sistema encadenado de caída con el sistema encadenado de mar bajo.

Discordancia subaerea, (*Subaerial unconformity SU*)

Superficie de regresión máxima (SRM) (*Maximum Regression Surface MRS*), Se identifica en base al cambio de patrón de apilamiento de engrosamiento de capas a (*thickening upward*) a adelgazamiento de capas (*thinning upward*) y profundización.

Superficie de Inundación Máxima (SIM), (*Maximum Flooding Surface MFS*), Es el cambio de patrón de apilamiento de adelgazamiento de capas y profundización a engrosamiento de capas y somerización con enriquecimiento en materia orgánica y bioturbación, en secciones sísmicas se observa downlap, a mayor escala: retrogradación a progradación.

Superficies concordantes (SC), Es la continuación en dirección hacia la cuenca de superficies formadas en la plataforma. pueden ser propagados a áreas distales de las cuencas.

Superficies basal de regresión forzada (SBRF), Es la superficie de caída del nivel de base abruptamente hacia la cuenca independientemente del aporte de sedimentos. (Figura 76).

2.2.8.6.2 Sistema Encadenado de Mar Alto. *Highstand System Tract*

(*HST*). Se caracteriza por:

- Disminución progresiva de la tasa de subida del nivel relativo del mar
- Tasa de subida del nivel relativo del mar es menor que la tasa aporte sedimentario (patrón progradacional)
- Agradación fluvial y de la planicie deltaica (*topset*) y progradación del frente deltaico
- Progradación de las líneas de costa dominada por olas.
- Depósitos turbidíticos no significativos.

(Figuras 77, 78 y 79)

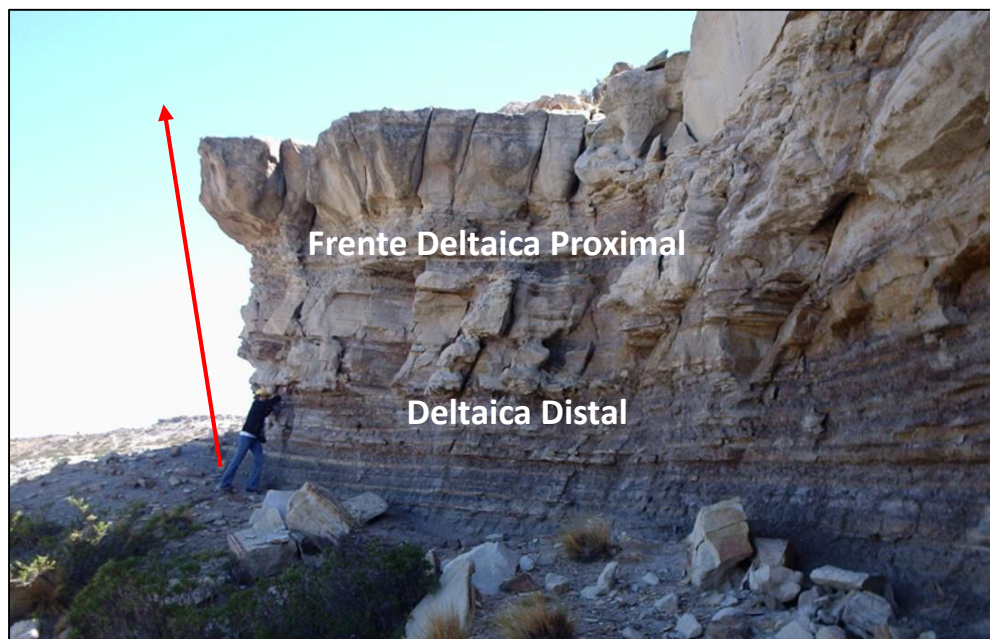


Figura 77, Fotografía de Puesto Seguel. Formación Lajas, Neuquen, Argentina, donde se puede observar con la flecha roja la progradación de las capas y la variación de los subambiente Frente Deltaico Distal a Frente Deltaico Próximo. (Catuneanu, 2006).

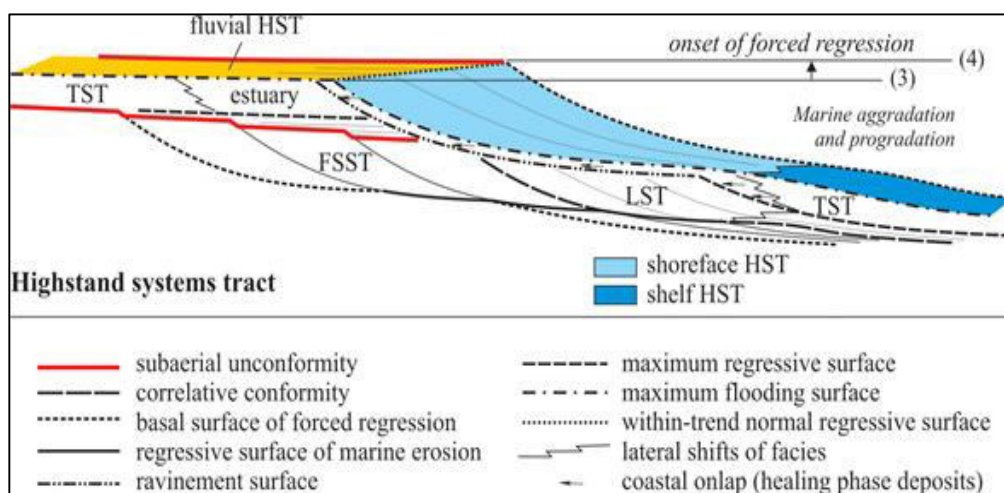


Figura 78, Esquema gráfico del sistema encadenado de mar alto (HST) donde se observa la regresión normal. (Catuneanu, 2006).

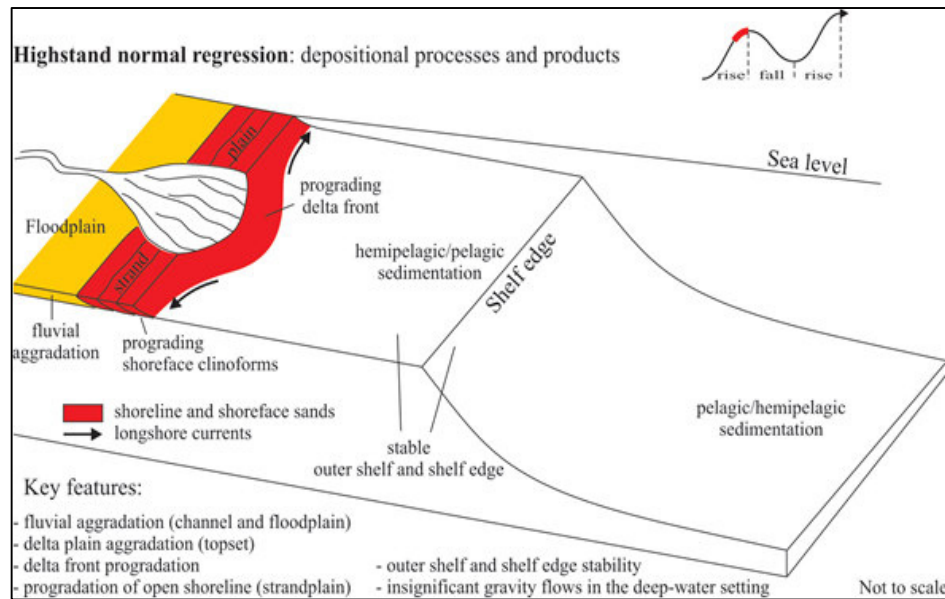


Figura 79, Block diagrama del sistema encadenado de mar alto (HST) donde se observa la Regresión normal y los diferentes tipos de ambientes depositacionales presentes. (Catuneanu, 2006).

2.2.8.6.3 Sistema Encadenado de Fase de Caída. Falling-Stage System Tract.

(FFST) Se caracteriza por:

- Caída del nivel relativo del mar (destrucción del espacio de acomodación)
- *Bypassing* o Incisión fluvial
- Desarrollo de cuñas progradacionales en *offlap*
- Depósitos turbídíticos importantes acumulaciones. (Figuras 80 y 81)

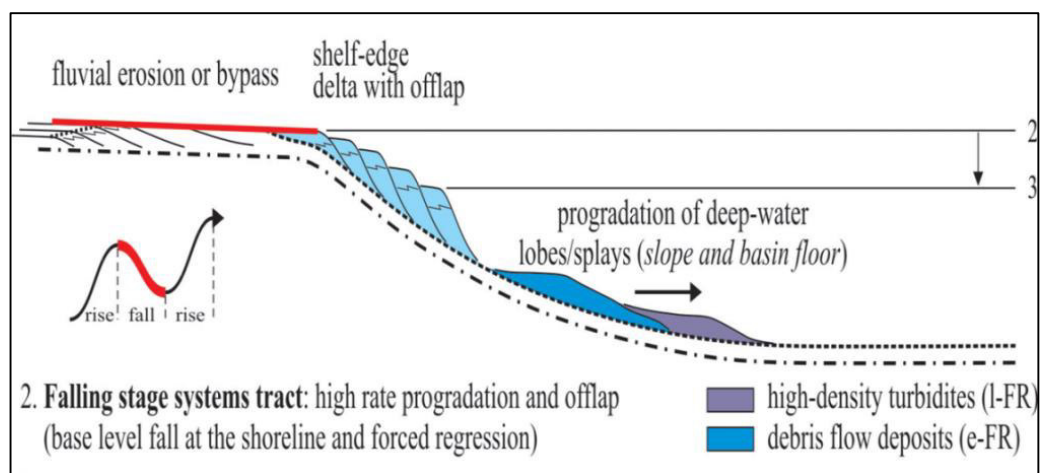


Figura 80, Esquema gráfico del sistema encadenado de fase de caída (FSST) donde se observa la regresión forzada. (Catuneanu, 2008).



Figura 81, Fotografía muestra los depósitos de sistema de mar alto y plataformas continentales expuestas por la regresión forzada son ejemplos característicos o escarpas depositacionales naturalmente sujetas a la incisión fluvial durante la caída del nivel de base. (Catuneanu, 2006).

2.2.8.6.4 Sistema Encadenado de Mar Bajo. Low System Tract (LST)

(LST) Se caracteriza por:

- Inicio de la fase de subida del nivel de base
- Tasa de subida del nivel de base es menor que la tasa aporte sedimentario.
- Baja tasa de agradación, alta tasa de progradación.
- Relleno de los valles incisos por depósitos fluviales.
- Retención de sedimentos gruesos en los sistemas fluviales y costeros.
- Depositación de turbiditas de granulometría fina. Figuras 82, 83 y 83a

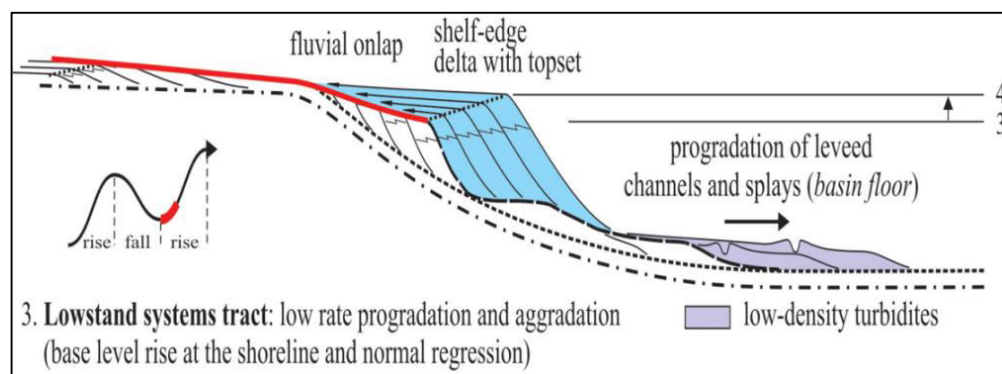


Figura 82, El LST incluye las las respuestas sedimentarias en los sistemas depositacionales fluvial, costero a transicional, marino somero y marino profundo. (Catuneanu, 2008, 2011).

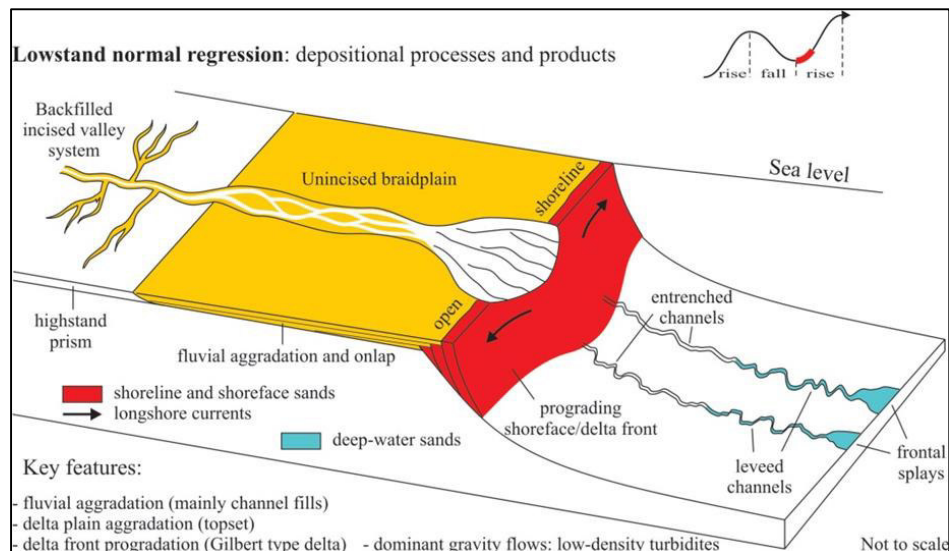


Figura 83, Muestra block diagrama del sistema encadenado de mar bajo (LST) donde se observa la regresión normal y los diferentes tipos de ambientes depositacionales presentes. (Catuneanu, 2006).



Figura 83a, Típicos ejemplos de sedimentos fluviales de lowstand incluyen depósitos amalgamados de rellenos de canales sobre una discordancia subaérea (SU) y dentro de valles incisos, Lowstand fluvial systems Castlegate Fm, Utah. (Catuneanu, 2008).

Sistema Encadenado Transgresivo. Transgressive System Tract. (TST) Se caracteriza por:

- Tasa de subida eustática es máxima. (Figuras 84 y 85)
- Se desarrolla un patrón de apilamiento retrogradante en la costa.

- Mayor generación de espacio de acomodación/preservación.
- Sección condensada se mueve en dirección a la costa.
- Sistemas fluviales entrelazados cambian para meandriiformes.

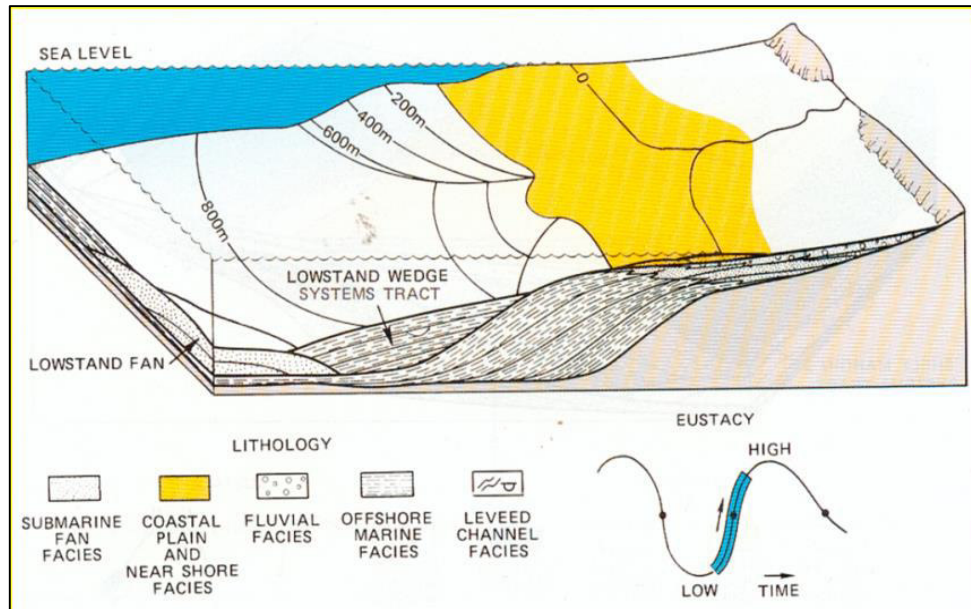


Figura 84, El sistema transgresivo tiene su inicio marcado el la primera transgresión marina (SRM) Superficie de regresión máxima. El final del sistema transgresivo es el (SIM) Superficie de inundación máxima. (Catuneanu, 2006).



Figura 85, Muestra fotografías de transgresión actual en costa de Antafona, Río de Janeiro, Brasil, en donde se aprecia como la invasión marina va destruyendo las casas y desapareciendo parte de la isla. (Raja Gabaglia et al., 2006).

2.2.9 Potencial de Crecimiento de los Sistemas Carbonáticos

2.2.9.1 Conceptos

Los sistemas deposicionales silicoclásticos dependen de un suministro externo para su acumulación. En los sistemas carbonáticos la capacidad de crecer verticalmente y producir sedimentos, es una cualidad intrínseca del sistema, llamado **Potencial de crecimiento**.

Conceptualmente se puede distinguir entre la capacidad de crecer verticalmente y acompañar el nivel del mar llamado **Potencial de Agradación** y la capacidad para producir y exportar los sedimentos, llamado **Potencial de Producción**.

El Potencial de Agradación es particularmente crítico en la sobrevivencia o el ahogamiento de plataformas carbonatadas, mientras que el **Potencial de Producción** es un factor crucial para la progradación o retiro de plataformas carbonatadas y relleno de las cuencas hambrientas.

Cabe destacar que el espesor de los sedimentos producidos en un tiempo está controlada por espacio de acomodación y no por la tasa de producción de sedimentos.

La tasa de producción de sedimentos también depende de la profundidad. En los mares de aguas calientes la productividad es más alta y relativamente constante a profundidades de hasta 15 m, zona habitada por los organismos que segregan carbonato de calcio, que son foto trópicos. En los mares de aguas frías la productividad es más pequeño y no varía mucho con la profundidad.

La productividad de los carbonatos también varía a lo largo de la plataforma. La plataforma de borde tiene mayor potencial de crecimiento que las facies dentro de la plataforma. Cuando hay un aumento en el nivel del mar que supera el potencial de crecimiento de su interior, el borde de la plataforma crecerá, mientras que dentro de la laguna permanecerá vacía.

Las tasas de acumulación de rocas carbonatadas se encuentran entre las mayores de las rocas sedimentarias. Sólo los sedimentos glaciales y evaporitas tienen mayores tasas de acumulación que los carbonatos

2.2.9.2 Morfología de Rampas y Plataformas Carbonáticas y Distribución de Facies Sedimentarias.

La deposición de las rocas carbonatadas depende de un número de factores bióticos y abióticos. Uno de los factores abióticos más importantes es la geometría del sustrato en la que se desarrollará la sedimentación de carbonatos que va a determinar no sólo la forma de crecimiento, sino también la distribución de facies. Muchos términos se han enunciado para describir estas morfologías, pero todos ellos incluyen dos tipos principales - plataformas y rampas - o las variaciones de estas.

La Rampa Carbonatada, ([Read 1985](#)). Se caracteriza por presentar buzamientos suaves (generalmente menos de 1°), con las facies de alta energía cerca de la costa. Hacia la cuenca no hay ninguna interrupción significativa en la pendiente y las facies pasan gradualmente a facies de aguas más profundas y baja energía. Dos tipos principales de rampas carbonatadas se definieron:

- **Rampas Homoclinales.** Se caracteriza por suaves pendientes uniformes hacia la cuenca (de unos pocos metros por kilómetro o fracciones de grado). Los ejemplos recientes de este tipo de rampa son el Golfo Pérsico y Shark Bay en Australia.

Presentan la siguiente distribución de facies de la costa a mar abierto:

- ✓ Planicie de marea y la laguna.
- ✓ Complejos de bancos de arena poco profundos, oolíticos / peloidales.
- ✓ Rampa profunda, por lo general wackestones y lutitas que contienen fauna marina abierta. Comunes tempestitas.
- ✓ Pendiente y cuenca, lutitas y lutitas con intercalaciones, Brechas y turbiditas son raras.
- **Rampas Distalmente Escarpadas** Este tipo de rampa muestra características híbridas entre rampas (la transición entre los bajos de más alta energía para las facies de menor energía por debajo del nivel de olas ocurre en la parte interna de la plataforma) y las plataformas con bordes (depósitos de talud con abundantes deslizamientos, brechas y arenas carbonatadas alóctonas). La diferencia fundamental con una plataforma es que la ruptura del talud no ocurre en la alineación de los bancos de alta energía, ocurriendo muchas kilómetros adelante, en dirección al mar

abierto. La distribución de facies es similar a rampas homoclinales excepto la región en la que se produce la rotura pendiente. La distribución de facies van desde la costa hacia mar abierto y son:

- ✓ Planicie de marea y la laguna.
- ✓ Complejo de bancos arenosos oolíticos / peloidales.
- ✓ Rampa profunda por lo general wackestones y lutitas que contienen fauna de mar abierto normalmente bioturbado. Pueden aparecer deslizamientos , brechas y turbiditas a lo largo del margen de la cuenca .
- ✓ Talud y cuenca con mudstones laminados pueden ser arcillosos con lutitas intercaladas . Son comunes las superficies de truncamiento erosional, deslizamientos y brechas con facies de talud (unidades de hasta 10 m de espesor). Los clastos de facies de aguas someras son raros, las brechas propensas a formar canales o sábanas, las turbiditas son comunes. Las facies reflejan las pendientes relativamente pronunciadas (varios grados) hacia la cuenca.

Plataformas (Figuras 86, 87 y 88). Sus características morfológicas son de una zona poco profunda y relativamente plana, con una marcada caída en los bordes en dirección hacia aguas más profundas. Pueden tener barreras en su borde o de tope plano anexadas a continente o aisladas. Tienen anchos variables de unos pocos a centenas de kilómetros. El promedio es generalmente 10 kilómetros.

- Plataformas carbonatadas con bordes, (Ginsburg & James, 1974) son poco profundas y en la parte exterior de alta energía está marcada por un aumento pronunciado de la pendiente (por lo general unos pocos grados hasta 60 grados o más) en dirección de las aguas profundas. Poseen una barrera continua o no a lo largo del borde de la plataforma, lo que restringe el movimiento y la acción de las olas, formando lagunas de baja energía hacia continente.

La barrera puede consistir de arrecifes, arena oolitas o bioclástitos , o islas de una face depositacional anterior . Ejemplo, el *Reef Tract* de Florida. Las plataformas con bordes son exclusivos de mares tropicales, ya que están formadas predominantemente por organismos de tipo fotozoan, que necesitan agua caliente para desarrollar.

Plataformas de Tope Plano, son plataformas con ausencia de barreras en su borde no permite la formación de un área de baja energía en la parte protegida como ocurre en las plataformas con bordes. Las plataformas de tope plano pueden ocurrir tanto en los mares tropicales como en los mares templados. Puede ocurrir aislados del continente, como bancos oceánicos como es el caso actual de las Bahamas. (Figuras 86, 87 y 88).



Figura 86, Fotografía plataforma con bordes anexada a continente en Florida. (Petrobras 2012).



Figura 87, Fotografía plataforma con bordes desanexada de continente, Isla de Bora – Bora en el Pacífico Sur. (Petrobras 2012).



Figura 88, Fotografía aérea de una plataforma de tope plano desanexada de continente, Isla Bahamas. (Petrobras 2012).

2.2.10 Estratigrafía de Secuencias en Rocas Carbonatadas

2.2.10.1 Variaciones del Nivel del Mar

Las rocas carbonáticas depositadas en ambiente marino, son ampliamente afectadas por las variaciones del nivel del mar. Existen tres eventos definitorios, (Jones & Desrochers, 1992). asociados con variaciones de 3^a orden en el nivel del mar.

Exposición: Si el nivel del mar cae por debajo de la plataforma, la fábrica carbonática se extingue y la producción de carbonatos se detiene, y los sedimentos son expuestos a la diagénesis meteórica (Figura 89).

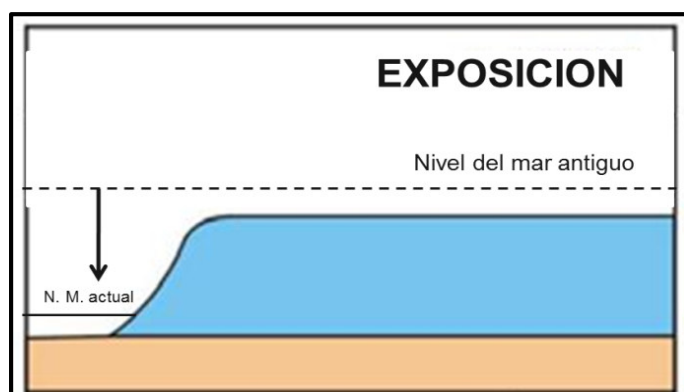


Figura 89, Se muestra esquemáticamente el fenómeno de exposición de la plataforma carbonática, (Jones & Desrochers, 1992).

Ahogamiento: Durante una transgresión, la elevación muy rápida del nivel del mar, puede ahogar la plataforma. Esto normalmente ocurre, porque la fábrica carbonática es sumergida debajo de la zona fótica y la producción biótica no consigue generar sedimentos en cantidades suficiente para acompañar la subida del nivel del mar. En esta situación pueden formarse hardgrounds, que marcar una discordancia por ahogamiento (Figura 90).

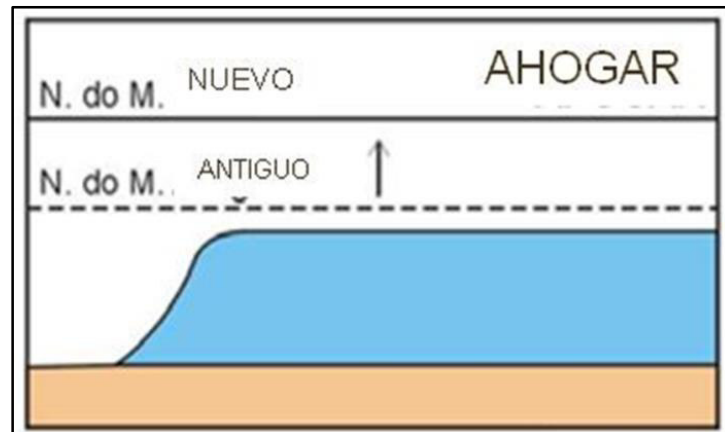


Figura 90, Muestra esquemáticamente el fenómeno de ahogamiento de la plataforma carbonática. (Jones & Desrochers, 1992).

Inundación: Es la situación de equilibrio donde la profundidad del agua sobre la plataforma está ajustada para la producción máxima de sedimentos y el espacio de acomodación es mantenido por la combinación de la subsidencia con la elevación del nivel del mar. Evidentemente que en esta situación existen variaciones en las tasas de inundación que pueden dar diferentes respuestas en la deposición (Figura 91)

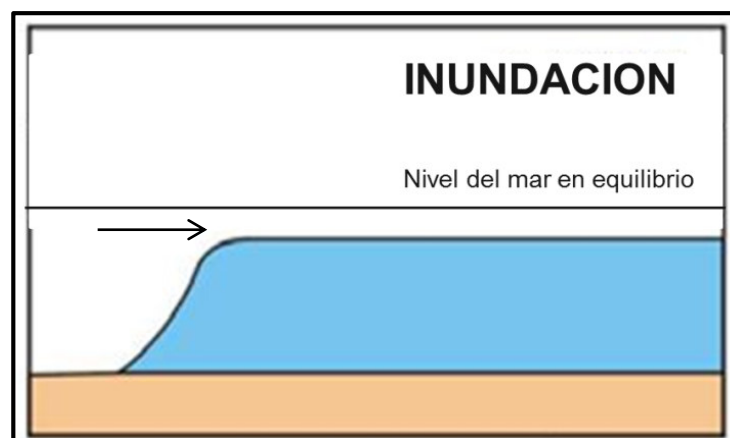


Figura 91, Muestra esquemáticamente el fenómeno de inundación de la plataforma carbonática, (Jones & Desrochers, 1992).

Las Figuras 92 y 93 muestran los tipos de sucesiones generadas por las subidas del nivel del mar y las cantidades de sedimentos producidos dando como resultado las diferentes morfologías durante las variaciones del nivel del mar.

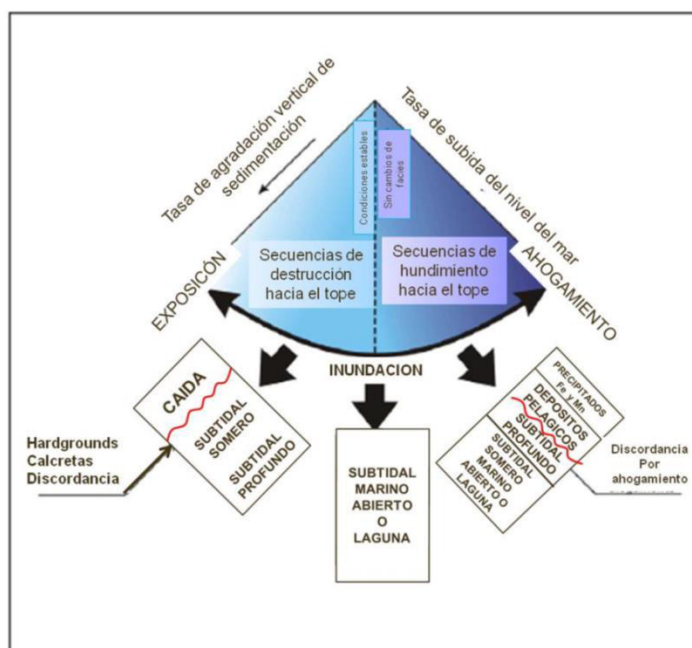


Figura 92, Muestra diagrama de tipo de sucesiones generadas por las tasas de subida del nivel del mar y las cantidades de sedimentos producidos, tomado de (Jones & Desrochers, 1992).

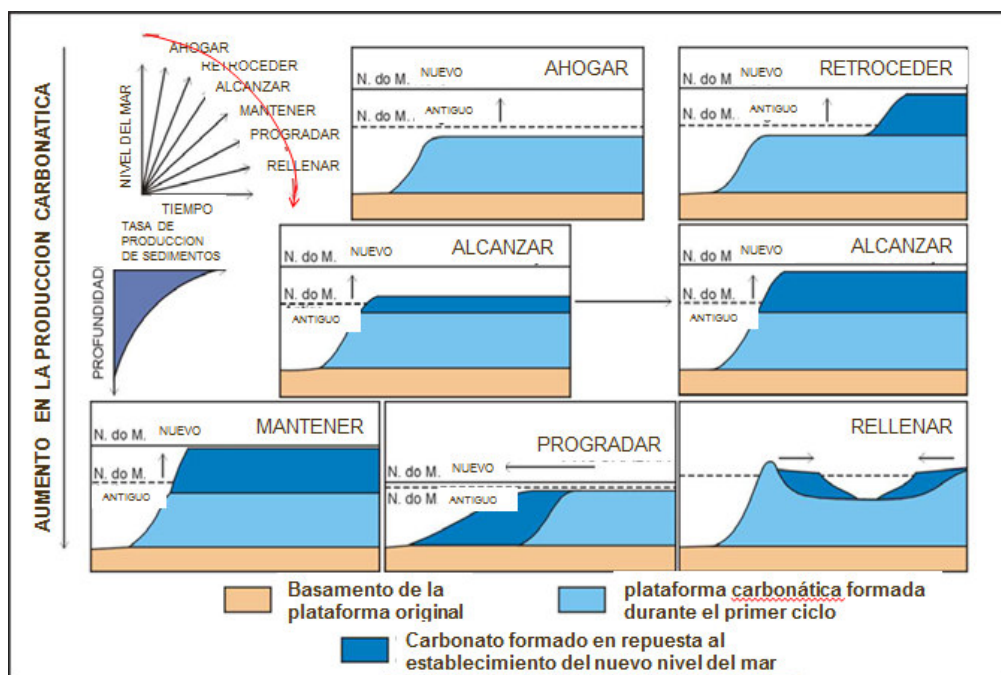


Figura 93, Muestra morfologías resultantes de la variación del nivel del mar en situaciones de ahogamiento o inundación. (Jones & Desrochers, 1992).

Geometrías de plataformas de carbonatos, (Figura 94), modificado (Schlager, 1992).

A = rate de generación de nuevo espacio de acomodación.

Gp = Potencial de crecimiento de la plataforma interior.

Gr = Potencial de crecimiento del borde de la plataforma.

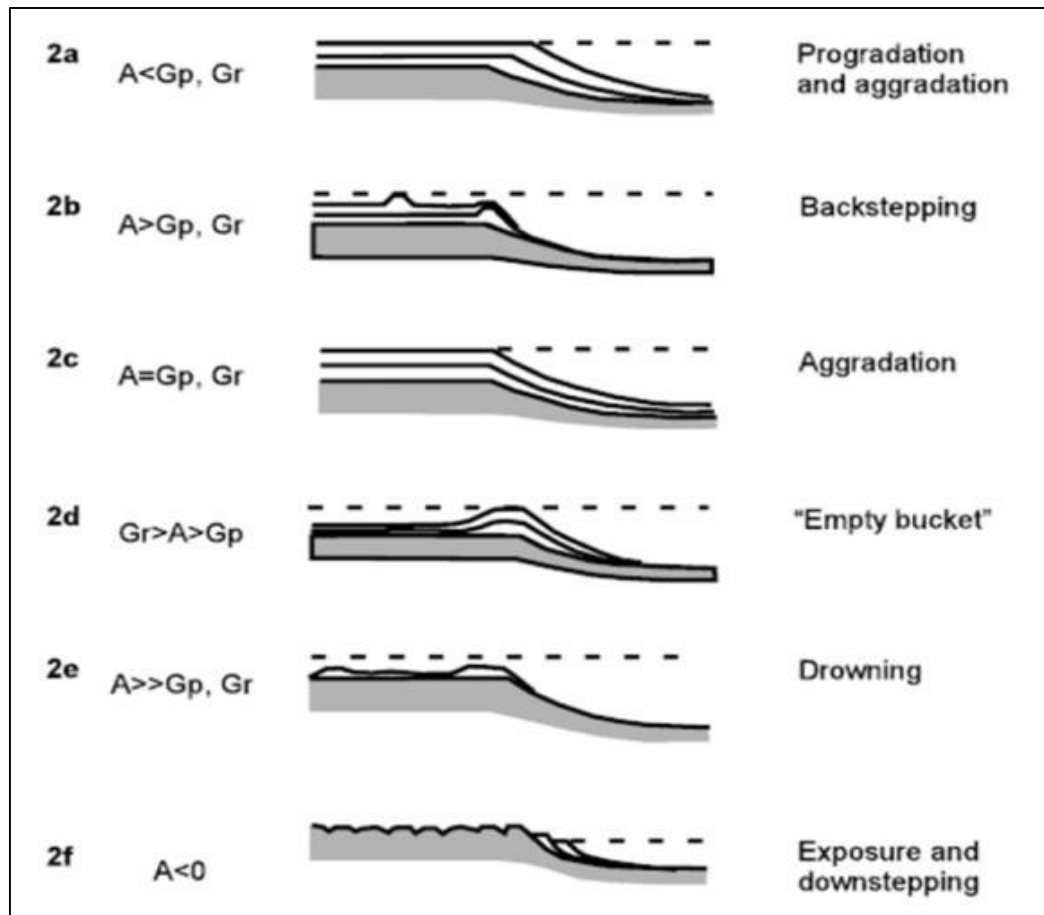


Figura 94, Muestra Exposición y peldaños descendentes. modificado (Schlager, 1992).

Descripción de los eventos que generan Transgresión, Progradación y Relleno de la plataforma carbonática. (Figuras 95, 96, 97, 98 y 99).

Retroceder (*Backstep*) – Transgresión, Variación rápida del nivel del mar, obliga a la sedimentación carbonática a retroceder para posiciones más próximas de la línea de costa. En este caso ocurre una reducción en el ancho de la plataforma (Figura 95).

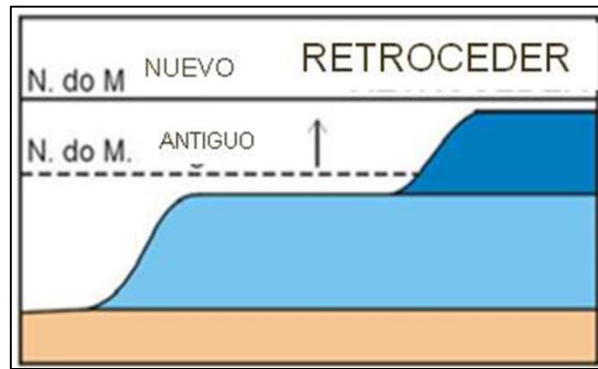


Figura 95, Muestra esquemáticamente el fenómeno de retroceder de la plataforma carbonática.. (Schlager, 1992).

Alcanzar (Catch-up) –Transgresión, inicio del mar alto En esta situación ocurre inicialmente una rápida elevación del nivel del mar seguida por una desaceleración de la subida. La superficie depositacional permanece a una profundidad de agua que permite una alta productividad. A medida que la subida del nivel del mar disminuye de velocidad, la sedimentación carbonática pro A pesar de ser una situación dominada por procesos de agradación, con el paso del tiempo la tasa de creación de nuevos espacios de acomodación disminuye, habiendo entonces progradación. Este proceso lleva a la deposición de una espesa sección dominada por facies subtidales, caracterizada por una tendencia de destrucción hacia el tope, que puede ser recubierta por facies progradantes de planicie de marea. mueve una acumulación vertical, que puede llegar a “alcanzar” el nivel del mar (Figura 96)

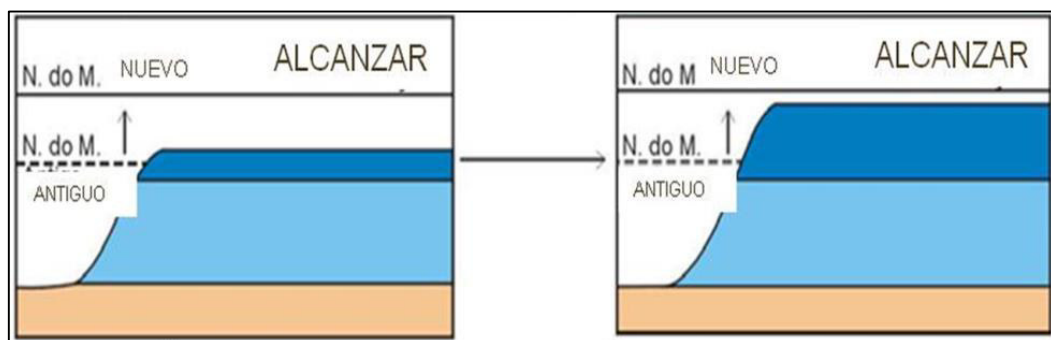


Figura 96, Muestra esquemáticamente el fenómeno de alcanzar de la plataforma carbonática. (Schlager, 1992).

Mantener (Keep-up) – Transgresión, esta es una situación en la cual la tasa de acumulación de sedimentos y la variación del nivel del mar mantienen el mismo ritmo, siendo creado espacio de acumulación continuamente. Virtualmente no hay modificación en las condiciones depositacionales y las facies se mantienen constantes con la elevación del nivel del mar. El proceso dominante es de agradación, formando espesos paquetes de secuencias de submareales (subtidales) y prácticamente no ocurren progradaciones de planicies de marea o de bajos de cuerpos arenosos (Figura 97).

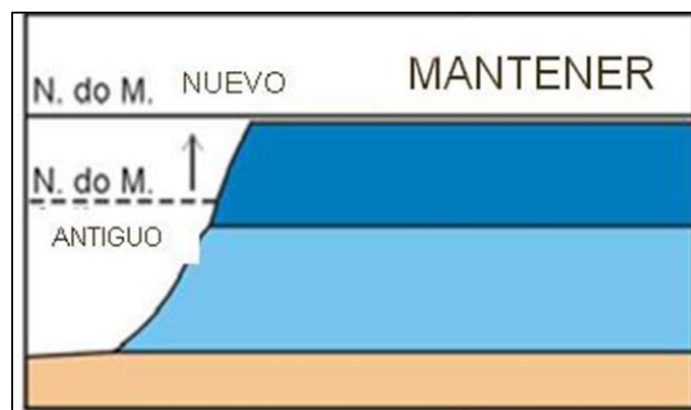


Figura 97, Muestra esquemáticamente el fenómeno de alcanzar de la plataforma carbonática. (Schlager, 1992).

Progradar y Rellenar (Progradation, fillup, spillout) – (mar alto), Esta es la fase en la cual la producción de sedimento comienza a exceder la variación relativa del nivel del mar, resultado en un desequilibrio en el sistema. Debajo de estas condiciones el exceso de sedimento se torna disponible para ser exportado para fuera de la plataforma. El transporte de sedimentos en dirección a la cuenca origina la progradación de la margen de la plataforma, aumentando su ancho y potencialmente el tamaño de la fábrica carbonática.

Ocurriendo normalmente la progradación de la planicie de marea sobre la plataforma, determinando en la práctica una reducción en el ancho de la plataforma y disminución del tamaño de la fábrica carbonática. En plataformas con barreras y taludes acentuados, puede ocurrir el relleno de la retaguardia de la barrera (Figuras 98, 99).

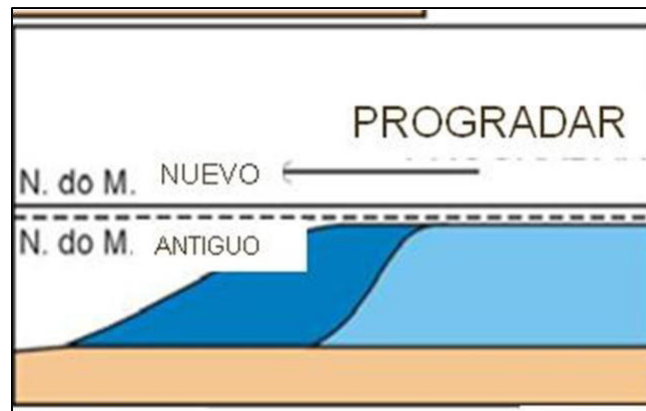


Figura 98, Muestra esquemáticamente el fenómeno de progradar de la plataforma carbonática. (Schlager, 1992).

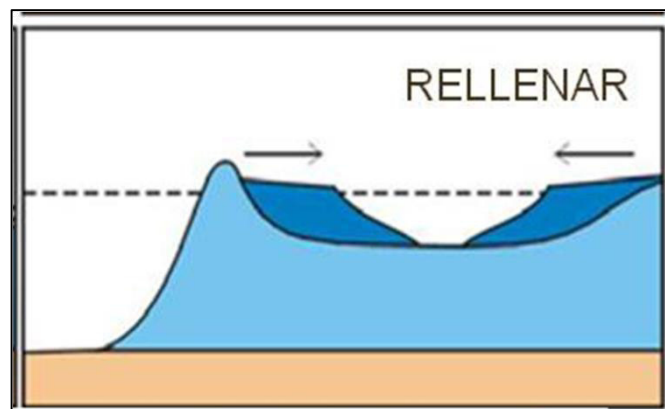


Figura 99, Muestra esquemáticamente el fenómeno de rellenar de la plataforma carbonática con barreras y taludes acentuados. (Schlager, 1992).

2.2.11 Cambios del Nivel del Mar y La Estratigrafía de Secuencias

Los sistemas encadenados (*system tract*) establecidos por la estratigrafía de secuencias tiene comportamiento diferenciado entre la sedimentación carbonática y la sedimentación silicoclástica. En la sedimentación silicoclástica todos los *tracts* tienen contribución en el volumen de deposición, en la sedimentación carbonática el mayor volumen corresponde a los *tract* de mar alto y transgresivo respectivamente, siendo muy pequeño en el *tract* de mar bajo. (Handford & Loucks, 1993).

Sistema Encadenado de Mar Bajo (LST)

En el caso de la sedimentación silicoclástica esta es una situación favorable. Las fuentes quedan mas próximas con los sedimentos transponiendo la plataforma expuesta y depositando inicialmente en el talud

y en la cuenca espesos paquetes de turbiditas. En una etapa posterior con la disminución del espacio de acomodación los valles incisos excavados anteriormente también son rellenados.

Lo opuesto ocurre con la **sedimentación carbonática**. En este track el nivel de mar se puede mover a posiciones mas bajas del borde de la plataforma exponiendo toda la plataforma somera y consecuentemente eliminando la fábrica carbonática. Debido a la inclinación del área del talud que con el rebajamiento se vuelve zona somera disponible para la implantación de la fábrica carbonática, la producción de sedimentos es muy pequeña. En clima húmedo, estos sedimentos estarán sujetos a la intensa diagénesis meteórica por la facilidad de acceso del agua meteórica. (Figura 100).

Si la plataforma carbonática estuviera próxima a una área continental con sedimentación silicoclástica, ésta puede ser recubierta por una fina capa de depósitos fluviales progradantes, que eventualmente pueden sobrepasar generando cuñas o abanicos terrígenos de mar bajo.

Esta situación resulta en una sedimentación alternada carbonática-silicoclástica, tanto en la plataforma como en el talud/cuenca.

En el área de la plataforma expuesta ocurrirá intensa carstificación y diagénesis que variará de intensidad dependiendo del clima, tiempo de exposición, mineralogía de los carbonatos, dando origen a una superficie limitante por discordancia sub aérea.

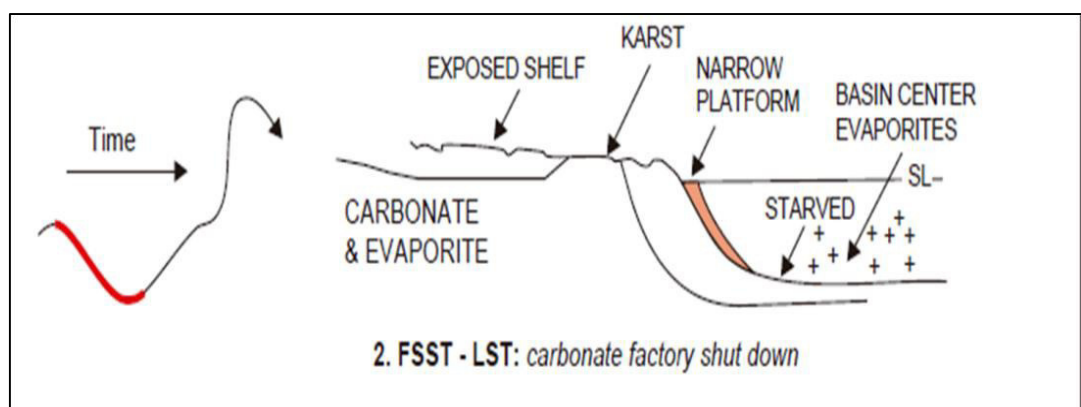


Figura 100, Muestra esquemáticamente los sistemas encadenados de caída y de mar bajo (FSST – LST). (Handford & Loucks, 1993).

Sistema Encadenado Transgresivo

En la **sedimentación silicoclástica** los valles incisos en la plataforma son rellenados y una sedimentación estuarina acompaña la inundación. Hay un rápido desplazamiento de facies en dirección al continente, pequeña deposición relativamente difundida por la plataforma, en cuanto a las áreas más profundas del talud/cuenca quedan hambrientas culminando con la superficie de inundación máxima (SIM).

En la **sedimentación carbonática** en contraste la elevación del nivel del mar permite que la fábrica carbonática opere en la mayor parte del tiempo en su capacidad óptima, disminuyendo solamente por pequeños periodos de ahogamiento incipiente. La migración de la zona de mínima oxigenación para la plataforma, también puede ocasionar paralizaciones eventuales de la fábrica carbonática.

La adición progresiva de nuevos espacios de acumulación resulta en el relleno total de la topografía precursora por una espesa sección de sedimentos subtidales y arrecifes . Son comunes unidades subtidales amalgamadas. (Figura 101).

La acreación vertical de facies asociada al proceso de retroceder es el modo típico de esta sedimentación. Los arrecifes, que debido a sus altas tasas de crecimiento, poseen el mayor potencial de acompañar la rápida subida del nivel del mar, pueden construir relieves excepcionalmente altos (estratigráficamente espesos).

El transporte de sedimentos para fuera de la plataforma depende de la tasa de producción de sedimentos y de la efectividad de la barrera en el borde de la plataforma.

Las facies de planicie de marea difícilmente migran hasta el borde de la plataforma y eventualmente desaparecen durante variaciones cortas del nivel del mar. Una superficie de inundación máxima (SIM) puede cubrir el system track transgresivo. Una sección condensada se desarrolla cuando partes de la plataforma se sitúan a profundidades debajo de la zona fótica disminuyendo drásticamente su producción o parando totalmente.

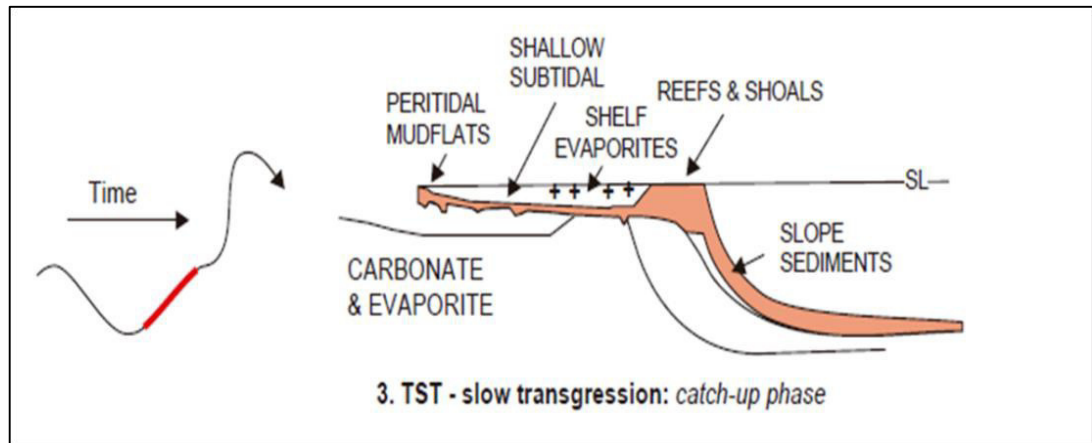


Figura 101, Muestra esquemáticamente los sistema encadenado Transgresivo (Catch-up phase). (Handford & Loucks, 1993).

Sistema Encadenado de Mar Alto (HST) (Figura 102)

Este es el estadio donde los volúmenes de sedimentación carbonática y la silicoclástica son semejantes.

En los **clásticos terrígenos** ocurre una sedimentación generalizada en la plataforma. Los estadios iniciales son caracterizados por agradación, que normalmente es sucedida por una rápida progradación.

En los carbonatos, en los estadios iniciales, una gran área de la plataforma es inundada posteriormente es rellenada. Los arrecifes alcanzan el nivel del mar y comienza a expandirse lateralmente. Las facies de planicie de marea progradan, llegando hasta la plataforma.

En los estadios finales de este sistema encadenado, el relleno casi total de la plataforma, restringe la producción de la fábrica carbonática. La mayor actividad se concentra en el borde de la plataforma, dando origen a un sistema de margen de la plataforma. Como el espacio de acumulación disponible en la plataforma es pequeño, son comunes los depósitos de peri marea. La plataforma exporta mucho sedimento, especialmente de las facies del borde de la plataforma, resultando en espesos depósitos de sedimentos gruesos, en forma de cunas en el talud. En este estadio terminal los sedimentos someros de la plataforma son intensamente alterados diagenéticamente debido a los largos períodos de exposición meteórica.

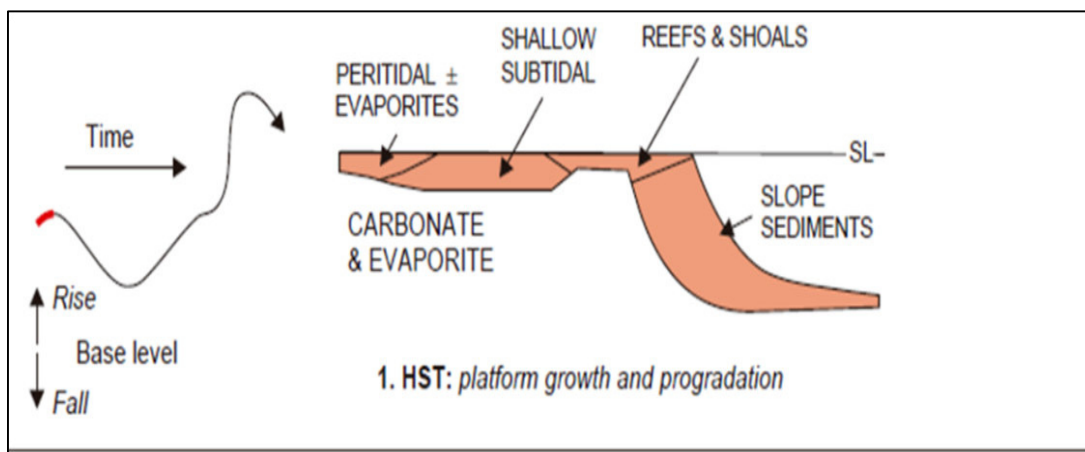


Figura 102, Muestra esquemáticamente los sistema encadenado de mar alto (HST) plataforma creciendo y progradación. (Handford & Loucks, 1993).

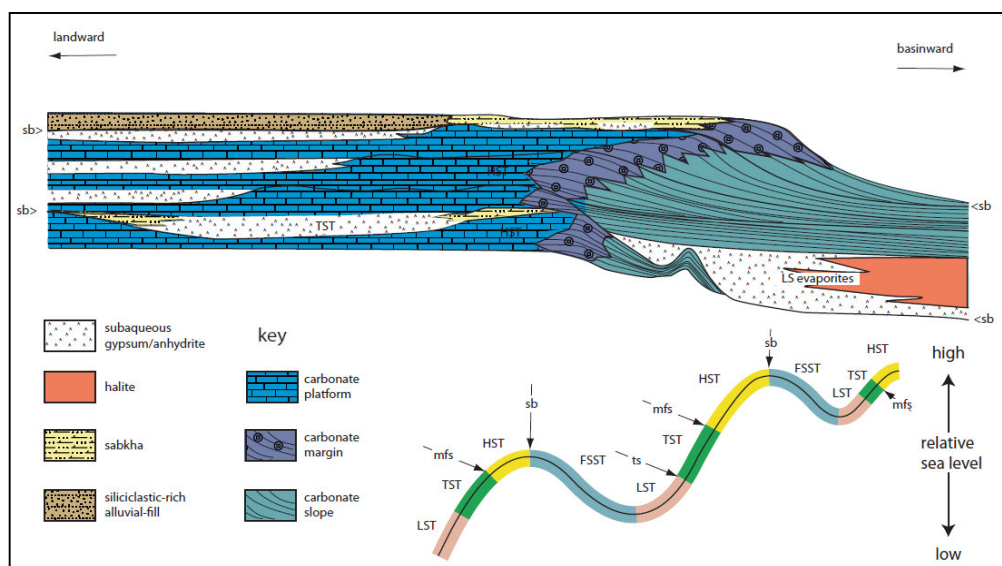


Figura 103, Muestra diagrama de distribución de facies de evaporitas – carbonatos en esquema de Estratigrafía de Secuencias. (Catuneanu, et al 2011).

2.3 Glosario de Términos

Abultamientos carbonáticos (Build up): Es el cuerpo carbonático que se eleva por encima del fondo del mar.

Acicular: Con forma de aguja. Morfología frecuente en los cristales de los cementos marinos de aragonito.

Aeróbico: Ambiente (sedimentación o diagenético) en el que el oxígeno está presente. Aplicado a organismos, cuando éstos requieren oxígeno para su crecimiento.

Agradación: Aporte sedimentario es igual a espacio de acomodación.

Ahogamiento: Durante una transgresión, la elevación muy rápida del nivel del mar, puede ahogar la plataforma.

Alcanzar (*Catch-up*) –Transgresión: inicio del mar alto En esta situación ocurre inicialmente una rápida elevación del nivel del mar seguida por una desaceleración de la subida.

Aloctono: Aplicable a los materiales procedentes de fuera de la cuenca de sedimentación. Comparar con “autóctono”.

Alogénesis: cuando hay redistribución interna de los elementos depositacionales / arquitecturales en los sistemas, con variaciones significativas de la energía total y del aporte sedimentario provocadas por factores externos a esos sistemas

Aragonito: Uno de los polimorfos (rómico) del CaCO_3 .

Arrecife: Edificio resistente a las olas, bioconstruido por organismos carbonáticos (corales, algas calcáreas, etc.).

Arenas carbonáticas (*sand shoals*): son acumulaciones de arenas carbonáticas cerca de los bordes del lado marino de bancos y plataformas.

Autóctono: Aplicable a los materiales formados en la propia cuenca de sedimentación. Comparar con “aloctono”.

Autogénesis: Cuando la redistribución interna de los elementos depositacionales en los sistemas, sin variaciones significativas de la energía total y del aporte sedimentario.

Bafflestone: Tipo de bioconstrucción originada por organismos que dan lugar a una pantalla que atrapa material fino.

Bindstone: Tipo de bioconstrucción en la que los organismos están ligados durante la sedimentación por actividad de organismos encostrantes y envolventes.

Bioacumulado: Roca carbonática constituida por un tipo dominante de organismos, con tamaño de arena o más y con poco o sin retrabajo (in situ),

Bioclasto: Resto esquelético, entero o fragmentado, que ha sufrido transporte.

Bioesparita: Caliza compuesta por granos esqueléticos (bioclastos) y cemento de calcita esparítica.

Biogénico: Aplicable a cualquier material o proceso producido o inducido por organismos vivos.

Bioherma: Sinónimo de “arrecife” abultamiento orgánico con geometría en forma de montículo o lensoidal en sección vertical.

Biomicrita: Caliza compuesta por granos esqueléticos (bioclastos) y matriz micrítica.

Bioquímico: Formado por procesos químicos bajo influencia biológica.

Bioturbación: Alteración de las texto-estructuras originales de un sedimento por actividad orgánica.

Biostromas: son considerados como capas orgánicas simples.

Boundstone: Bioconstrucción en la que los organismos, tales como corales y algas, se encuentran ligados durante la sedimentación.

Brecha: Conglomerado cuyos clastos del esqueleto son angulosos, en rocas carbonáticas este término se aplica además para definir un tipo de porosidad: la que queda entre los clastos de una brecha.

Calcita: Es el polimorfo (trigonal) del CaCO_3 más común.

Calcereo Cristalino: Roca carbonática totalmente recristalizada no siendo posible identificar su textura original deposicional.

Cambios tectono-eutatismo: Cambios en el volumen de las cuencas.

Cambios glasio-eutatismo: Cambios en el volumen de las aguas oceánicas.

Cemento: Precipitado químico (cristales), a partir de los fluidos diagenéticos, que rellenan los poros de sedimentos y rocas.

Componentes Ortoquímicos: Son producto de la precipitación química directa en el agua, ya sea marina o meteórica, al momento de la sedimentación o durante la diagénesis.

Componentes Aloquímicos: Término para designar los granos carbonáticos formados en la cuenca de sedimentación, pero que no son producto de la precipitación química en el agua, sino que son, principalmente, fragmentos de organismos.

Dendrolito: Depósito microbial de estructura dendrítica formada por cianobacterias esqueléticas

Dolomía: Roca carbonática compuesta fundamentalmente por dolomita, y generada normalmente por un proceso “dolomitización”.

Dolomitización: Proceso de reemplazamiento de un mineral, generalmente calcita o aragonito, por dolomita, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Esferolitos: son partículas de esférica a subesférica de contornos lisos o lobulados de tamaño mayor a 2mm.

Esparita: Cristales de calcita equidimensionales, de tamaño grande (normalmente, $> 10 \mu\text{m}$) y fácilmente observables petrográficamente.

Esparítico: Término textural que se aplica a cristales, o conjunto de cristales (cemento), de calcita o dolomita, de tamaño $> 10\mu\text{m}$.

Esquelético: Referidos a los componentes que integran los sedimentos y rocas carbonáticos, aquellos que proceden de material segregado directamente por organismos para formar partes duras de su esqueleto.

Esqueleto: Conjunto de clastos que forman el armazón del depósito de los depósitos detríticos.

Estratigrafía de Secuencias: Es una metodología de análisis que desarrolla una sistemática para la subdivisión del relleno de una cuenca sedimentaria en Secuencias genéticamente relacionadas y limitadas en el tope por superficies llave.

Espacio de Acomodación: Es el espacio disponible para ser rellenado por sedimentos.

Estromatolito: Estructura laminada generada por la acción de cianobacterias, que atrapan material sedimentario.

Estromatolito Arborescente, Cuando los componentes internos se organizan en forma ramificada y divergente y tienen mayor altura que ancho.

Estromatolito Arbustiforme: Cuando los componentes internos se organizan en forma ramificada o no desde la base y la razón Altura/Ancho es cercano a 1.

Estromatolito Dendriforme: Cuando los componentes internos se organizan en forma intensamente ramificada y divergente y tienen una altura mayor que el ancho.

Eutrófico: bajo suministro de nutrientes.

Eustatismo: Se refiere a la posición de la superficie del mar en referencia a un dato fijo (centro de la tierra).

Exposición: Si el nivel del mar cae por debajo de la plataforma, la fábrica carbonática se extingue y la producción de carbonatos para y los sedimentos son expuestos a la diagénesis meteórica

Fábrica: Origen y control biótico de los carbonatos, que forman las rocas carbonatadas.

Fábrica Tropical (T): El origen de los carbonatos en aguas tropicales, a partir de organismos autotróficos que generan su propio material a través de la fotosíntesis especialmente en algas u organismos heterotróficos con simbiosis de organismos autotróficos, ejemplo los corales y también precipitados inorgánicos ooides y lodo calcáreo.

Fábrica Aguas Frías (C): El origen de los carbonatos en aguas frías es dominado por organismos heterotróficos.

Fábrica Biótica (M): El origen de los carbonatos de origen biótico inducido, son de baja a poca profundidad de agua, los lodos carbonáticos por precipitación y mayormente microbial micrítica tienen este origen.

Facies: Conjunto de todas las características, de un sedimento o roca, que reflejan las condiciones en que se formó. Según los datos concretos utilizados, se puede anteponer un prefijo; por ejemplo: biofacies, litofacies, etc.

Floatstone: Término utilizado para sedimentos y rocas carbonáticas, matriz-soportados, con > 10% de clastos, de un tamaño > 2mm.

Framestone: Tipo de bioconstrucción en la que los organismos desarrollan armazones rígidos, como los corales.

Grainstone: Roca carbonática grano-soportada, sin matriz micrítica entre los granos.

Hardground: Suelo marino cementado in situ, generalmente por aragonito o calcita de alto contenido en magnesio.

Intraclasto: son fragmentos penecontemporáneos de sedimentos carbonáticos, parcialmente litificados, que son erosionados de la superficie de deposición y redepositados como nuevo sedimento.

Inundación: Es la situación de equilibrio donde la profundidad del agua sobre la plataforma está ajustada para la producción máxima de sedimentos.

Laminito: Roca carbonática de granulometría fina (lodosa y/o peloidal) formada por la recurrencia de laminaciones delgadas. Las laminaciones

tienden a ser plano – paralelas, con superficie lisa (origen microbial o no) Laminito Liso, o crenulado (origen microbial).

Lodo Carbonático: Término general empleado para designar a los sedimentos carbonáticos compuestos por partículas y/o cristales de tamaño $< 62 \mu\text{m}$.

Leiolito: Depósito microbial dómico, sin laminaciones o coágulos.

Mantener (*Keep-up*) – Transgresión Esta es una situación en la cual la tasa de acumulación de sedimentos y la variación del nivel del mar mantienen el mismo ritmo.

Micrita: Carbonato criptocristalino ($< 4 \mu\text{m}$), aragonito o calcita. Término empleado como sinónimo de lodo carbonático.

Montículo: Estructura submarina tipo colina redondeada, compuesta de material esquelético o automícrita de origen predominantemente microbial.

Mud: Término equivalente a barro micrítico o “micrita”.

Mudstone: Referido a rocas carbonáticas, las compuestas por barro micrítico y menos de 10% de granos. Ver clasificación de Dunham (1962).

Oncolito (oncoide): Partícula carbonática esférica o subesférica ($> 2 \text{ mm}$, y hasta varios cm), originada por acreción de carbonato bioinducido por acción de cianobacterias, desarrollando láminas irregulares concéntricas.

Oolito (ooide): Partícula carbonática, esférica-subesférica, en general de tamaño grano (0,25 a 2 mm), con un núcleo y envueltas concéntricas. Aunque se originan en diversos ambientes, los genuinos se forman en ambientes de sedimentación marina de alta energía.

Oomicrita: Caliza matriz-soportada, compuesta fundamentalmente por oolitos como aloquímicos.

Oosparita: Caliza grano-soportada, compuesta por oolitos y cemento de calcita esparítica.

Oligotrófico: Alto suministro de nutrientes.

Organismos foto-autótrofos: Organismos dependientes de la luz.

Packstone: Roca carbonática grano-soportada, con matriz micrítica entre los granos.

Plataformas: Sus características morfológicas son una zona poco profunda y relativamente plana, con una marcada caída en los borde en dirección

hacia aguas más profundas. Pueden tener barreras en su borde o de tope plano anexadas a continente o aisladas.

Pellet: Grano aloquímico, con tamaño medio 100-500 μm , compuesto de carbonato cripto a microcristalino; con forma redondeada o subredondeada, esférica, elipsoidal o irregular, y sin estructura interna. El término es descriptivo, independiente de su origen. Cuando tienen origen fecal, se les denomina pellets fecales.

Peloide: Término utilizado para describir pellets cuando no se está seguro de su origen.

Los pináculos y patch reef: Son bioconstrucciones que se forman durante el ascenso del nivel del mar algo rápido.

Pisolito (pisoide): Partícula carbonática (*coated grain*) de origen inorgánico, caracterizada por su forma esférica o subesférica, tamaño $> 2 \text{ mm}$, y laminaciones concéntricas de carácter acrecional.

Potencial de crecimiento: En los sistemas carbonáticos es la capacidad de crecer verticalmente y producir sedimentos.

Potencial de Agradación: Es la capacidad del sistema de acompañar el nivel del mar.

Potencial de Producción: Es la capacidad para producir y exportar los sedimentos,

Progradación: Aporte sedimentario es mayor a espacio de acomodación.

Rampa Carbonatada: Se caracteriza por presentar buzamientos suaves, con las facies de alta energía cerca de la costa, hacia la cuenca no hay ninguna interrupción significativa en la pendiente y las facies pasan gradualmente a facies de aguas más profundas y baja energía.

Regresión: Línea de costa avanza en dirección a la cuenca.

Regresiones normales: suceden durante las etapas finales e iniciales, de subida del nivel de base cuando las tasas de sedimentación superan la tasa de subida del nivel de base en la línea de costa.

Regresiones forzadas: suceden durante las etapas de caída del nivel de base cuando la línea de costa es forzada a retroceder por la caída del nivel del mar, independiente del aporte sedimentario

Retrogradación: Aporte sedimentario es menor a espacio de acomodación.

Retroceder (*Backstep*) – Transgresión, Variación rápida del nivel del mar, obliga a la sedimentación carbonática a retroceder para posiciones más próximas de la línea de costa.

Rudstone: Caliza clasto-soportada, con > 10% de clastos, de un tamaño > 2mm.

Secuencia Estratigráfica: Es un ciclo de cambios en el patrón de apilamiento definido por superficies estratigráficas recurrentes en el registro de la roca.

Secuencia Depositional: Una unidad estratigráfica limitada por discordancias subaéreas y sus concordancias correlativas marinas.

Secuencia Genética: Una unidad estratigráfica limitada por superficies de inundación máxima.

Secuencia Transgresión – Regresión: Una unidad estratigráfica limitada por una superficie compuesta que incluye una discordancia subaérea y una porción marina de la superficie de regresión máxima.

Sistema Encadenado de Mar Alto (HST) *Highstand Systems Tract*: Disminución progresiva de la tasa de subida del nivel relativo del mar, patrón progradacional.

Sistema Encadenado de Fase de Caída (FSST) *Falling-Stage System Tract* : Caída del nivel relativo del mar y destrucción del espacio de acomodación, Incisión fluvial.

Trombolito: Depósito de textura macroscópica coagulada (*clotted*) maciza, domica. En la mayoría de las veces de origen microbial.

Travertino: Caliza muy porosa originada por la precipitación de carbonato cálcico, disuelto en las aguas subterráneas cuando éstas surgen a la superficie, favorecida por la retirada de CO₂ del agua por la actividad de vegetales, el aumento de temperatura y la disminución de la presión.

Transgresión: Línea de costa avanza en dirección a continente.

Wackestone: Roca carbonática matriz-soportada, con > 10% de granos.

Withings: manchas de lodo en la superficie del mar originada por los peces o tempestades

Zona eufótica: es definida por los biólogos en el nivel donde la producción de oxígeno para la fotosíntesis y el consumo de oxígeno para la respiración están en equilibrio.

Zona protegida (*Back reef*): Los sedimentos están formados por arrecifes localizados (*Patch reef*) que crecen como carpetas y por detritos esqueléticos que son transportados a partir de la cresta del arrecife.

Zona de las Islas de barrera o playa: Aparecen justo detrás de la cresta del arrecife y tienen características similares a una isla de barrera clástica.

Zona de Bancos de lodos esqueléticos: Los bancos actuales se forman donde existen plantas marinas (*sea grass*) y algas verdes calcáreas que unen y atrapan sedimentos finos derivados de la rotura de las mismas en ambientes turbulentos.

CAPITULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis General

La aplicación de la Estratigrafía de Secuencias en rocas carbonáticas del Pérmico, apoyará a la exploración por hidrocarburos en la búsqueda de nuevas oportunidades (plays) en los reservorios aún inexplorados en el país.

3.2 Hipótesis Específicas

- La Estratigrafía Secuencial es una alternativa para la búsqueda de trampas estratigráficas en rocas carbonáticas.
- La aplicación de las secuencias estratigráficas integrarán a las rocas generadoras, sello y reservorio del sistema petrolero.
- La integración de la Sedimentología con la Estratigrafía de Secuencias permitirá la elaboración de un modelo Geológico – Estratigráfico predictivo para la exploración de hidrocarburos.

3.3 Identificación de Variables

Variables Independientes:

La Estratigrafía de Secuencias en rocas carbonáticas

Variables Dependientes:

La exploración de hidrocarburos en rocas carbonáticas

3.4 Indicadores de Variables:

Tabla 1. Indicadores de variables

VARIABLES	RESUMEN	INDICADORES
VARIABLES INDEPENDIENTES	Secuencias Estratigráficas de Tercer orden.	Número de Secuencias Estratigráficas de Tercer Orden en los Grupos Tarma - Copacabana.
	Superficies clave discordancias.	Distribución de Secuencias en el espacio y el tiempo en .
	Superficie de regresión máxima.	Generación de modelo de distribución de sistemas encadenados de los Grupos Tarma - Copacabana.
	Superficie de inundación máxima.	Validación de modelo con afloramientos y pozos.
	Ciclicidad Transgresión - Regresión.	
	Curva de variación de la líneas base.	
VARIABLES DEPENDIENTES	Grupos Tarma y Copacabana.	
	Sistemas Deposicionales Encadenados.	
	Facies Sedimentarias.	
	Ambientes deposicionales.	

3.5 Matriz De Consistencia

Tabla 2. Matriz de Consistencia.

TITULO: ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS EN ROCAS DEL PERMICO APLICADA A LA EXPLORACION HIDROCARBURIFERA EN LAS CUENCAS DEL SUR ORIENTE PERUANO							
Problema General	Problemas Especificos	Objetivo General	Objetivos Especificos	Hipotesis General	Hipotesis Especificas	Variables	Indicadores
¿Cómo la Estratigrafía de Secuencias aplicada a la rocas carbonáticas del Pérmico ayudara a la exploración por hidrocarburos en las cuencas del Sur Oriente del Perú?	1. ¿Es La Estratigrafía de Secuencias una mejor alternativa a la Litoestratigrafía en la exploración de trampas estratigráficas en rocas carbonáticas? 2. ¿De que manera la determinación de las secuencias estratigráficas contribuye a la integración de las rocas generadoras, sello y reservorio? 3. ¿Cómo se integra la Sedimentología a la Estratigrafía de Secuencias para la construcción del modelo geológico - estratigráfico predictivo para la exploración por hidrocarburos?	Construcción de un modelo geológico basado en Estratigrafía Secuencial, para la exploración por hidrocarburos. En búsqueda de nuevas fronteras en resevorios complejos aun inexplorados en el país.	1.- Identificar facies sedimentarias y ambientes deposicionales. 2.- Hacer Estratigrafía sustentada en las variaciones del nivel de base y la naturaleza ciclica de las rocas en el tiempo. 3.- Desarrollar la sistemática de Estratigrafía de Secuencias, para la subdivisión del relleno sedimentario en Secuencias de tercer orden genéticamente relacionadas y limitadas por superficies llave.	La aplicación de la Estratigrafía de Secuencias en rocas carbonáticas del Pérmico, apoyará a la Exploración por Hidrocarburos en la búsqueda de nuevas oportunidades (plays) en los reservorios aún inexplorados en el país.	1.- La Estratigrafía Secuencial es una alternativa para la búsqueda de trampas estratigráficas en rocas carbonáticas. 2.- Las secuencias estratigráficas integraran a las rocas generadoras, sello y reservorio del sisteme petrolero. 3.- La integración de la Sedimentología con la Estratigrafía de Secuencias permitirá la construcción del modelo Geológico – Estratigráfico predictivo para la exploración de hidrocarburos.	INDEPENDIENTES: La Estratigrafía de Secuencias en rocas carbonáticas DEPENDIENTES: La exploración de hidrocarburos en rocas carbonáticas	1.- N° de Secuencias Estratigráficas de 3 ^{er} Orden en Grupos Tarma - Copacabana. 2.- Distribución de Secuencias en el espacio y el tiempo 3.- Generación de modelo de distribución de sistemas encadenados (System Tracks) 4.- Validación de modelo con afloramientos y pozos

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y diseño de la investigación

El proyecto de tesis es una investigación básica que aplica la metodología de estratigrafía de secuencias en tercer orden en rocas de edad Pérmica de origen Silico - Carbonáticas, la cual viene siendo aplicada con éxito en el mundo para la exploración de hidrocarburos.

Esta investigación es **básica** y **cualitativa** y su diseño logra alcanzar los objetivos propuestos, es de naturaleza **observacional**. Esta investigación parte de la observación, análisis de los datos obtenidos por la geofísica (sísmica de la subsuperficie), en la adquisición de perfiles eléctricos en la etapa de perforación y completación de pozos exploratorios que han atravesado los Grupos Tarma y Copacabana en las Cuencas de Ucayali y Madre de Dios e interpretado los datos obtenidos con las informaciones teóricas-técnicas de la Estratigrafía de Secuencias disponibles, complementando con otros estudios análogos de las rocas carbonatadas en otras partes del mundo con similares características donde se ha aplicado la metodología de la Estratigrafía de Secuencias la cual se aplicará a las rocas carbonatadas del Pérmico en el sur del Perú y encontrar zonas de interés exploratorio por hidrocarburos.

4.2 Método analítico inductivo

Esta investigación básica y cuyo diseño para lograr los objetivos es con estudios observacionales ya que el problema a resolver es generado por la naturaleza y a su vez no es posible manejar las variables independientes, es **retrospectiva** ya que se cuenta con los datos recogidos con anterioridad y de acuerdo al número de mediciones son del tipo **transversales**.

4.3 Etapas de estudio

Etapa I.- Esta etapa comprende la recolección de la base de datos de los pozos exploratorios perforados, afloramientos de rocas, núcleos de roca, líneas sísmicas registradas, y sus análisis realizados a las muestras de pozos, e informaciones publicadas en revistas, textos y publicaciones especializadas.

Etapa II.- Esta etapa consiste en la preparación, descripción y análisis de los datos adquiridos de pozos, afloramientos y sísmica de subsuelo y comprende:

- Identificación de pozos tipo y selección del datum y Correlación
- Elaboración del mapa base de secciones de correlación sísmica y pozos.
- Descripción y análisis de afloramientos y núcleos de pozos.
- Identificación de facies sedimentarias
- Definición de las asociaciones de facies sedimentarias para la determinación de los elementos arquitecturales.

Etapa III.- Esta etapa consiste en la interrelación de la información y datos disponibles organizados para iniciar las inferencias y postulados previos a la interpretación:

- Integración roca – perfil para y la determinación de los patrones de apilamiento de cada facie o elemento arquitectural para ser llevado al total de pozos del estudio.
- Postulación de los ambientes sedimentarios silíceos – carbonáticos presentes a lo largo de las unidades en estudio.
- La interpretación de las superficies de estratigrafía de secuencias y su jerarquía como base para determinar los sistemas encadenados presentes.

Etapa IV.- Esta etapa consiste en la realización de la interpretación de la Estratigrafía de Secuencias:

Sistemas Encadenados de Tercer Orden.

- Sistema Encadenado de Caída del Nivel de Base (FSST).
- Sistema Encadenado de Mar Bajo (LST).
- Sistema Transgresivo (TS).

- Sistema Encadenado de Mar Alto (HST).
- Secuencias Genéticas y Secuencias Depositacionales.

Etapas V.- El área de estudio abarca las rocas de las cuencas sedimentarias de Ucayali y Madre de Dios en Sur Oriente Peruano, Las Unidades Estratigráficas estudiadas son de edad Pérmica, Tarma – Copacabana, las cuales se encuentran sobreyaciendo en discordancia a la Unidad Ambo e infrayaciendo en discordancia a la Unidad Ene. En esta etapa se realizará la elaboración de mapas y modelos finales de cada una de las secuencias determinadas.

Etapas VI.- Es la etapa de discusión de las interpretaciones y resultados obtenidos en los estudios e investigaciones realizadas y para determinar su aplicación en la exploración y desarrollo de hidrocarburos en las rocas carbonáticas en las cuencas de Ucayali y Madre de Dios.

Las conclusiones a las que se quiere llegar son de dos tipos:

- Académicas: Mejorar el conocimiento de la génesis y arquitectura interna de las rocas sedimentarias de origen principalmente carbonáticas en el Pérmico de las cuencas del Sur Oriente peruano.
- Aplicativas: En la exploración y desarrollo de hidrocarburos, carbón y otros recursos minerales, definición de:
 - Rasgos deposicionales y localización de trampas estratigráficas
 - Construcción de un marco predictivo donde se asocia la roca madre, el sello y el reservorio mejorando la ubicación espacial y calidad, para la definición de Plays Exploratorios.
 - Mejora la caracterización estática en campos ya descubiertos a través de una más precisa distribución de las propiedades de reservorio (escala alta resolución y desarrollo de modelos estáticos más detallados)

4.4 Unidad de análisis

La investigación está centrada en las rocas sedimentarias de los Grupos Tarma Copacabana en las Cuencas con filiación hidrocarburífera de Ucayali y Madre de Dios en el Sur del Perú. Para establecer el nuevo marco de Estratigrafía de Secuencias de Tercer Orden para visualizar oportunidades y

posibilidades de exploración por hidrocarburos en rocas carbonáticas y que son objetivo de la presente investigación.

4.5 Población de estudio

La data e información disponible se ha catalogado de acuerdo a su origen y aplicación siendo las siguientes:

- Datos e Información de Perfiles Litológicos, fluorescencia de hidrocarburos, Cromatografía de gases, Perfiles de pozo básicos (Rayos Gamma, Cáliper, Potencial Espontáneo, Resistividades, Densidad, Fotoeléctricos, Neutrón, Sónico), Núcleos y Núcleos de pared, y estudios especiales del Grupo Copacabana en 48 pozos exploratorios perforados en los últimos 40 años por compañías exploradoras de hidrocarburos en las cuencas de Ucayali y Madre de Dios.

En la Tabla 3, se listan los pozos exploratorios que tienen información disponible y a ser usada para los estudios de Estratigrafía de Secuencias. (Fuente Banco de datos de Perupetro 2015).

Tabla 3. Pozos exploratorios

N°	COMPAÑÍA OPERADORA	POZO EXPLORATORIO	COORDENADA NORTE	COORDENADA ESTE
1	GANSO AZUL	AGUA CALIENTE 01	9022241.2	531632.1
2	MAPLE	AGUA CALIENTE-31D-NR-1X	9023139	527419
3	PETROPERU	AMAUQUIRIA 32X	9179430.6	514368.8
4	Mobil E & P Peru	Candamo 1X	8517052.6	1043422.4
5	QUINTANA MINERALS PERU	CHIO 1X	9023740.9	474526.8
6	GANSO AZUL	CHONTA 1	9016844.8	536891.1
7	ORIENTE	CONINCA 1	9130364.7	442985.9
8	ORIENTE	CONINCA 2	9128198.5	459356.6
9	PETROPERU	HUAYA 3X	9213820.3	478908.4
10	PETROPERU	HUAYA 4X	9213605	478742.7
11	COASTAL	INSAYA 74-52-1X	9209788	491250
12	ORIENTE	INUYA 1X	9173884.4	520437.1
13	PERU CITIES SERVICE INC	KARENE 3X	8575437.8	941162.1
14	REPSOL-YPF	KINTERONI-1X-ST1	8727211.2	690684.1
15	OCCIDENTAL	LA COLPA 1X	8969206	667494.1
16	PERU CITIES SERVICE INC	LOS AMIGOS 2X	8673057.5	955669.2
17	REPSOL	MAPI 57-17-5X	8735732.4	655753.7
18	ORIENTE	MAQUIA 1	9189669.4	504347.3
19	REPSOL EXPLORACION PERU	MASHANSHA-1X	8841947.4	676642.8
20	SHELL	MIPAYA-1X	8719483.5	700934
21	PLUSPETROL PERU CORP.	MIPAYA-1001-X-D	8719331	699881
22	PLUSPETROL PERU CORP.	MIPAYA-1002-XCD	8719343.9	699886.4
23	ORIENTE	NESHUYA 5-1X	9055158.9	513176.2
24	PHILLIPS	PANGUANA-1X	8780112	790637.7
25	ANDES PETROLEUM	PARIAMANU-1X	8648996.9	1027644.7
26	MOBIL	PISQUI 1	9132617.3	448347
27	OCCIDENTAL	PLATANAL 1X (36-2-1X)	9001054.5	640478.3
28	MOBIL	PONASILLO 30-28-1X	9182033.9	356837.8
29	ANDES PETROLEUM	PUERTO PRIMO-2X	8655867.3	1074348.8
30	PLUSPETROL PERU CORP.	RASHAYA SUR 1X	9098843.5	456976.3
31	SIGNAL (PERU) PETROLEUM CO	RIO CACO 33-52-4X	8975401.6	592716.9
32	Peru Cities Services	Rio Cariyacu 1X	8679059.2	973930.8
33	HISPAOIL	RUNUYA (36-14-1X)	8937952.9	582266.7
34	PANENERGY	SAN ALEJANDRO 1X	9025381.9	488343.3
35	SHELL	SAN MARTIN-1X	8698240.9	742303.2
36	SIGNAL (PERU) PETROLEUM CO	SANUYA 33-53-3X	8983043.7	608362
37	SHELL	SEPA-1X	8781275	668721
38	Baker Hughes	SHAHUINTO 71-10-1X	8977637.8	689626.5
39	REPSOL	SIPAN 90-34-1X	8799406.8	675904.5
40	MOBIL	TAHUAYA 1	9104536.2	481780.4
41	PETROMINERALES	SHESHEA 1X	8936298.6	662665.6
42	PETROPERU	TAMAYA 33-38-2x	9021835.2	593333.6
43	SIGNAL (PERU) PETROLEUM CO	TIRUNTAN 33-4-1X	9126023.6	515603.5
44	PETROBRAS S.A.	URUBAMBA 1X	8688374.9	723704.5
45	MOBIL	ZORRILLOS 1	9067325.3	478680.6
46	PACIFIC STRATUS ENERGY	YAHUISH 1X	9081516.1	645215.7
47	MAPLE	SANTA ROSA-1X	9161950	517500

- Los datos e información sísmica 2D (surveys) que se encuentran disponibles de las cuencas de Ucayali y Madre de Dios y que han sido utilizados para la elaboración de secciones sísmicas regionales sobre las cuales se ha realizado la interpretación sísmica y sismo-estratigráfica como apoyo para el mejor entendimiento de la sub superficie.

En la Tabla 4, se lista la data e información disponible (4 surveys de Madre de Dios) y (8 surveys de Ucayali) a usar. Fuente Banco de datos de Perupetro. 2015.

Tabla 4. Información sísmica.

INFORMACION SISMICA DISPONIBLE EN LAS CUENCAS DE UCAYALI Y MADRE DE DIOS							
AÑO	CUENCA	FINAL_SHOT	INITIAL_SH	LINE_LENTH	LINE_NAME	REGION	SURVEY
1973-1975	MADRE DE DIOS	980,00	86,00	1,11E+05	CTS-9	SELVA	CTSGSI7375L46
1973-1975	MADRE DE DIOS	266,00	136,00	1,60E+04	CTS-14	SELVA	CTSGSI7375L46
1973-1975	MADRE DE DIOS	3.782,00	2.627,00	1,18E+05	AND-5	SELVA	ANDGSI7375L47
1973-1975	MADRE DE DIOS	3.711,00	2.631,00	1,15E+05	AND-6	SELVA	ANDGSI7375L47
1973-1975	MADRE DE DIOS	3.361,00	2.145,00	1,20E+05	AND-C	SELVA	ANDGSI7375L47
1973-1975	MADRE DE DIOS	2.849,00	2.471,00	4,31E+04	AND-A	SELVA	ANDGSI7375L47
1996-1997	MADRE DE DIOS	5.684,00	1.001,00	1,17E+05	96-MGLP101	SELVA	MOBGRG9697L77
1996-1997	MADRE DE DIOS	6.404,00	1.001,00	1,35E+05	96-MGLP102	SELVA	MOBGRG9697L77
1996-1997	MADRE DE DIOS	6.038,00	1.219,00	1,20E+05	96-MGLP103	SELVA	MOBGRG9697L77
1996-1997	MADRE DE DIOS	8.304,00	1.000,00	1,83E+05	96-MGLP106	SELVA	MOBGRG9697L77
1985	MADRE DE DIOS	3.420,00	1.000,00	6,07E+04	MD-56	SELVA	SHLSSC85L49L51
2007-2008	MADRE DE DIOS	-	-	0,00E+00	SAP07-04	SELVA	SAPBGP07L111
2007-2008	MADRE DE DIOS	-	-	0,00E+00	SAP07-11	SELVA	SAPBGP07L111
1973-1975	UCAYALI	510,00	99,00	5,13E+04	TOT2W	SELVA	TOTCGG7375L39
1973-1975	UCAYALI	953,00	510,00	5,73E+04	TOT2E	SELVA	TOTCGG7375L39
1973-1975	UCAYALI	940,00	100,00	1,04E+05	TOT12	SELVA	TOTCGG7375L39
1973-1975	UCAYALI	540,00	174,00	4,06E+04	TOT101	SELVA	TOTCGG7375L39
1973-1975	UCAYALI	960,00	514,00	5,85E+04	TOT-101	SELVA	TOTCGG7375L39
1984-1985	UCAYALI	3.985,00	1.000,00	7,56E+04	85-UB-108	SELVA	SHLSSL8485L38L42
1984-1985	UCAYALI	3.985,00	1.000,00	7,56E+04	85-UB-108	SELVA	SHLSSL8485L38L42
1984-1985	UCAYALI	3.985,00	1.000,00	7,56E+04	85-UB-108	SELVA	SHLSSL8485L38L42
1973-1975	UCAYALI	496,00	24,00	6,17E+04	W74-46	SELVA	SIGWG7375L33
1973-1975	UCAYALI	408,00	20,00	5,08E+04	W74-53	SELVA	SIGWG7375L33
1973-1975	UCAYALI	312,00	2,00	4,04E+04	W74-66	SELVA	SIGWG7375L33
1982-1983	UCAYALI	5.876,00	3.060,00	4,13E+04	82-UBA-03A	SELVA	SHLGE08283L38L42
1982-1983	UCAYALI	2.274,00	915,00	3,87E+04	82-UBA-03B	SELVA	SHLGE08283L38L42
1982-1983	UCAYALI	3.074,00	2.460,00	1,78E+04	82-UBA-03C	SELVA	SHLGE08283L38L42
1982-1983	UCAYALI	4.336,00	3.950,00	1,17E+04	82-UBA-03D	SELVA	SHLGE08283L38L42
1982-1983	UCAYALI	1.840,00	1.000,00	2,47E+04	82-UBA-03E	SELVA	SHLGE08283L38L42
1982-1983	UCAYALI	3.240,00	2.205,00	2,95E+04	82-UBA-09	SELVA	SHLGE08283L38L42
1982-1983	UCAYALI	3.000,00	1.623,00	3,93E+04	82-UBA-11	SELVA	SHLGE08283L38L42
1982-1983	UCAYALI	2.466,00	1.841,00	1,78E+04	83-UBA-03E	SELVA	SHLGE08283L38L42
1982-1983	UCAYALI	2.000,00	424,00	4,56E+04	83-UBA-13NW	SELVA	SHLGE08283L38L42
1982-1983	UCAYALI	3.989,00	2.000,00	5,79E+04	83-UBA-13SE	SELVA	SHLGE08283L38L42
1984-1985	UCAYALI	3.203,00	1.821,00	3,48E+04	84-UB-102	SELVA	SHLSSL8485L38L42
1984-1985	UCAYALI	2.450,00	1.000,00	3,65E+04	84-UB-45A	SELVA	SHLSSL8485L38L42
1984-1985	UCAYALI	4.092,00	2.276,00	4,55E+04	84-UB-45B	SELVA	SHLSSL8485L38L42
1984-1985	UCAYALI	3.757,00	1.000,00	6,89E+04	85-UB-106	SELVA	SHLSSL8485L38L42
1984-1985	UCAYALI	2.660,00	1.000,00	4,16E+04	85-UB-52	SELVA	SHLSSL8485L38L42

(Continuación de la Tabla 4)

INFORMACION SISMICA DISPONIBLE EN LAS CUENCAS DE UCAYALI Y MADRE DE DIOS							
AÑO	CUENCA	FINAL_SHOT	INITIAL_SH	LINE_LEN	LINE_NAME	REGION	SURVEY
1997	UCAYALI	3.577,00	101,00	8,69E+04	G97W84-7	SELVA	ANAWG97L84
1997	UCAYALI	2.749,00	101,00	6,62E+04	G97W84-8	SELVA	ANAWG97L84
1997	UCAYALI	3.523,00	101,00	8,56E+04	G97W84-9	SELVA	ANAWG97L84
1997	UCAYALI	5.261,00	101,00	1,29E+05	G97W84-6	SELVA	ANAWG97L84
1973-1975	UCAYALI	180,00	34,00	1,95E+04	W74-36	SELVA	SIGWG7375L33
1973-1975	UCAYALI	804,00	180,00	8,14E+04	W74-36EXT	SELVA	SIGWG7375L33
2002	UCAYALI	1.302,00	101,00	3,00E+04	REP-02-01	SELVA	REPDCG02L34-35
1996	UCAYALI	2.447,00	1.001,00	4,34E+04	PE96-001	SELVA	CHEGRG96L52
1996	UCAYALI	1.565,00	1.107,00	1,37E+04	PE96-002	SELVA	CHEGRG96L52
1996	UCAYALI	2.024,00	1.001,00	3,07E+04	PE96-012	SELVA	CHEGRG96L52
1973-1975	UCAYALI	1.048,00	346,00	8,70E+04	HIS 2	SELVA	HISGSI7375L36
1973-1975	UCAYALI	1.351,00	330,00	1,19E+05	HIS 6	SELVA	HISGSI7375L36
1973-1975	UCAYALI	452,00	13,00	5,27E+04	HIS 8	SELVA	HISGSI7375L36
1973-1975	UCAYALI	589,00	424,00	1,92E+04	HIS8	SELVA	HISGSI7375L36
1973-1975	UCAYALI	1.009,00	539,00	5,49E+04	HIS-8	SELVA	HISGSI7375L36
1973-1975	UCAYALI	1.036,00	387,00	7,70E+04	HIS 15	SELVA	HISGSI7375L36
1973-1975	UCAYALI	1.375,00	1.057,00	3,72E+04	HIS 15.	SELVA	HISGSI7375L36
1973-1975	UCAYALI	793,00	393,00	4,87E+04	HIS 16	SELVA	HISGSI7375L36
1987-1988	UCAYALI	1.590,00	100,00	3,73E+04	87-10	SELVA	OXYWG8788L36
1987-1988	UCAYALI	1.308,00	100,00	3,01E+04	87-18 N	SELVA	OXYWG8788L36
1987-1988	UCAYALI	1.000,00	748,00	6,28E+03	87-18 N EXT	SELVA	OXYWG8788L36
1987-1988	UCAYALI	993,00	100,00	2,20E+04	87-20.4	SELVA	OXYWG8788L36
1987-1988	UCAYALI	1.520,00	1.000,00	1,29E+04	87-20.4 EXT	SELVA	OXYWG8788L36
1987-1988	UCAYALI	820,00	100,00	1,79E+04	87-55	SELVA	OXYWG8788L36
1997-1998	UCAYALI	4.645,00	1.001,00	1,09E+05	97-06	SELVA	PNGDGC9798L71
1997-1998	UCAYALI	2.701,00	1.001,00	5,10E+04	97-11	SELVA	PNGDGC9798L71
1997-1998	UCAYALI	1.901,00	1.001,00	2,70E+04	97-11.5	SELVA	PNGDGC9798L71
2006-2007	UCAYALI	-	-	0,00E+00	R57-04	SELVA	REPGRS0607L57
2006-2007	UCAYALI	-	-	0,00E+00	R57-07	SELVA	REPGRS0607L57

- Los datos e información de análisis e interpretación de muestras de canaleta, núcleos y muestras de pared de las Unidades del Carbonífero Tardío y Pérmico Temprano, los siguientes pozos: Chio-1X, Huaya-4X, La Colpa-1X, Mashansha-1X, San Martín-1X, Panguana-1X, Pariamanu-1X, Ponasillo-1X, Rashaya Surt-1X, Río Caco-4X, Santa Rosa-1X, Candamo-1X.
- Columnas Lito-Estratigráficas de campo en: Pongo de Mainique, Pongo de Mayapu, Pongo de Coñec, Quebradas de Manu Chico, Ambo, Río Alto Manu, Isla de Copacabana – Bolivia, Ambo, Vilcabamba.

4.6 Tamaño de la Muestra

Las muestras o datos disponibles son finitos y el tamaño de la muestra seleccionada para los estudios a realizar fue determinada en base a los diferentes análisis a realizar de las variables que son cualitativas y que requieren de un muestreo no probabilístico y selectivo de acuerdo al interés de la investigación y no requieren de la estadística. En la Tabla 5, se lista la cantidad de data seleccionada para la investigación.

Tabla 5. Data seleccionada.

DATA SELECCIONADA DEL AREA DE ESTUDIO		
N°	DATA	CANTIDAD
1	POZOS EXPLORATORIOS	28
2	CAMPAÑAS SISMICAS	4
3	COLUMNAS DE CAMPO	4
4	ESTUDIOS ESPECIALES	2
5	PUBLICACIONES	20

4.7 Selección de la muestra

La selección de las muestras se ha realizado con el procedimiento de muestreo no probabilístico principalmente a criterio del investigador y por conveniencia de la selección de los elementos que más pueden contribuir al estudio. Las muestras se seleccionaron de forma no Aleatoria y en ciertos casos preferentes. Para la presente investigación se seleccionaron los perfiles eléctricos y perfiles litológicos de 28 pozos exploratorios, 4 campañas sísmicas (surveys sísmicos), 4 columnas de campo, 2 estudios especiales y 20 publicaciones relacionadas al estudio e investigación.

4.8 Técnicas de recolección de datos

La técnica de recopilación de datos e información ha sido:

- La recolección de datos e información de perfiles eléctricos, radioactivos, litológicos previamente adquiridos en los pozos exploratorios perforados por diferentes compañías, las líneas sísmicas adquiridas en las diferentes

campañas de adquisición geofísica, los informes y reportes de campo, estudios especiales de muestras de núcleos, muestras de pared de pozo y muestras de canaleta, la búsqueda y recolección se realizó en instituciones publicas y privadas como Perupetro, Ingemmet, Sociedad Geológica del Perú, biblioteca de las Universidades de San Marcos e Ingenieria, Congresos y Simposios toda la data e información es de libre disponibilidad.

- Los estudios y trabajos técnicos, boletines publicados referentes a la investigación en instituciones como Asociación Americana de Geólogos de Petróleo (AAPG), Universidad Federal de Río Grande del Sur – Brasil, Universidad Corporativa de Petrobras, Sociedad de Ingenieros de Petróleo (SPE), Asociación de Sedimentólogos, Sociedad Geológica del Perú.

4.9 Análisis e Interpretación de la Información

La data de perfiles de pozos exploratorios se analizó e interpretó usando como facilitadores programas especializados (software) de petrofísica Interactive Petrophysic, la data e información de columnas de campo, análisis de núcleos, muestras laterales se elaboró y analizó en el programa especializado Anasete. Las correlaciones y mapeo se realizaron con la ayuda del programa, Geographix Arc Gis y Google Earth. El análisis e interpretación geofísica sísmica se realizó con la ayuda del programa especializado Petrel. Toda la integración de la información interpretada se realizó en GIS y también en Petrel.

La hipótesis del estudio es tentativa en el Perú dado que no existen estudios similares; Sin embargo a nivel del mundo ya ha sido probada y es usada como una metodología de trabajo para la exploración por hidrocarburos.

La comprobación o no de la hipótesis se hará con la prueba de validez de la afirmación que consiste en poner dentro del modelo de Estratigrafía de Secuencias de pozos exploratorios incógnitos (previamente perforados pero no usados en el modelo) y ver su ajuste en el modelo o no y la posibilidad de ser usado para planificar la exploración por hidrocarburos en las rocas carbonáticas del Grupo Tarma – Copacabana.

CAPITULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Geología General de las Unidades Pérmicas – Carboníferas

5.1.1 Geología histórica de las unidades litoestratigráficas Tarma y Copacabana

El Grupo Tarma originalmente fue descrito por Dumbar y Newell (1946), asignándole este nombre a las intercalaciones de lutitas oscuras y calizas datadas del Carbonífero Superior siendo la localidad tipo el cerro Aullabamba, situado al Oeste – Sur Oeste de la ciudad de Tarma en el Departamento de Junín. Posteriormente ha sido estudiado en la parte central por Newell et al., (1953), Megard, (1969 y 1979), Audebaude, (1973) y Laubacher, (1978), mientras en la selva oriental fue reconocida por Ruegg, (1956) y Koch, et al. (1962).

La denominación de Grupo Copacabana se propuso en las rocas carbonáticas por primera vez en la península de Copacabana en el Lago Titicaca, Bolivia, por Douglas (1914) y posteriormente Cabrera et al. (1936), la denominan como Formación Copacabana. En el año 1946 Dumbar, (1953) le dan nuevamente la categoría de Grupo y fijan su edad basados en la presencia de fusulinidas entre el Pensilvaniano Inferior a medio (Wolfcampaniano) y el Pérmico medio temprano (Leonardiano inferior).

Litológicamente el Grupo Copacabana está compuesto principalmente por rocas carbonáticas de origen biogénico de amplia variedad, formadas y depositadas en la plataforma de un mar somero y restringido, Las principales características tectónicas que controlaron la deposición de Copacabana fueron el Cratón Guyana del Precámbrico (3000 – 2600 Ma), el Cratón Guapore del Precámbrico (3000 – 1800 Ma) constituidos por rocas metamórficas e intrusivas, el Macizo de Arequipa del Precámbrico (2000 Ma) constituido de roca granulitas y gneis, el Alto de Contaya activo desde el Devónico (363 Ma) hasta el Aptiano (112 Ma) compuesto de rocas del precámbrico y Paleozoico, el alto de la Costa es un levantamiento desde Eoherciniano (350 Ma) y fue positivo durante Tardiherciniano (260 Ma) y

parcialmente positivo durante el Mesozoico, el Alto de Madidi activo desde Eoherciniano hasta el Jurásico superior, como se aprecia en la Figura 104. El espesor es muy variable va desde los 300 m. hasta los 650 m.

El Grupo Copacabana ha sido reconocido en afloramientos rocosos y en el subsuelo por pozos perforados en todo el Perú, por ejemplo en el Norte (Olmos, Condomarca, Cayacaya), parte central (Ambo, Tarma, Huancayo, Perene Paquitzapapongo, Shira etc.) y en el Sur (Pongo de Coñec, Macusani, Tinta, Tiquina, Pongo de Mainique, Vilcabamba, Viscachani etc.).

La estratigrafía generalizada de las cuencas en estudio se muestra en la columna de la Figura 104, cual se destaca las edades, las correlaciones entre cuencas y los eventos tectónicos.

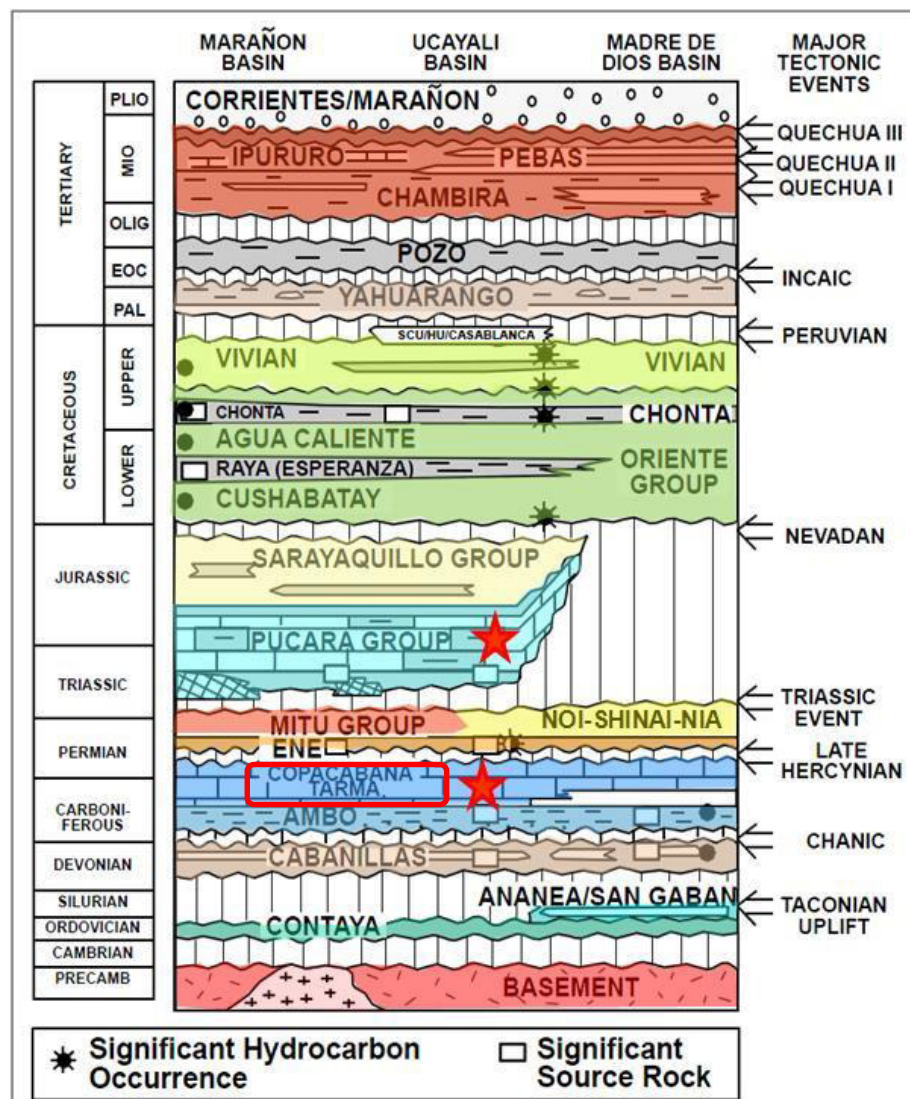


Figura 104, Se muestra la columna Estratigráfica Generalizada de las cuencas del Oriente del Perú. (Eduardo, 2013).

5.1.2 Litoestratigrafía de las Unidades Tarma – Copacabana

El Grupo Tarma, es una unidad litoestratigráfica de amplia distribución en el Sur Este del Perú incluyendo el subsuelo de las cuencas de Ucayali y Madre de Dios, Se presenta una síntesis de la descripción litológica de esta unidad que se ha tomado de ([Monge, 1996](#)) Litológicamente está constituida por intercalaciones de areniscas, calizas y limoarcilitas, cuyas proporciones resultan ser variables según la aparente paleogeografía que tuvo durante su depositación.

En la parte media de la unidad se tiene la intercalación de areniscas, calizas, limoarcilitas abigarradas, en capas delgadas. Las areniscas son de grano fino y cemento calcáreo, con algunas estructuras sedimentarias como flaser bedding, ripples y otros niveles con laminación horizontal paralela.

Al tope de la unidad se tiene de manera más continua la intercalación de areniscas feldespáticas de color gris verdusco, en capas tabulares de grano medio con areniscas calcáreas, calizas y algunos niveles con nódulos de chert, Las areniscas presentan niveles con estratificación sesgada de mediana y pequeña escala. Esta litofacies comúnmente observadas en la unidad, son interpretadas por [Audebaud \(1973\)](#), en Pitumarca como evidencias de zonas positivas o muy someras, de morfología suave las que existieron durante la deposición de la unidad.

El Grupo Copacabana tiene en promedio tiene espesor de 500 m y está conformado por calizas micríticas, espáticas, caliza arenosa y limoarcilitas calcáreas, predominantemente se presentan en capas gruesas. Suprayace concordantemente al Grupo Tarma, habiéndose colocado el contacto donde terminan las areniscas y comienza una sucesión enteramente calcárea, Infrayace localmente en discordancia angular suave y en otras en concordancia a las areniscas rojas y vulcanitas del Grupo Mitú en la Cordillera y las arcillitas negras de la Formación Ene en el subsuelo de las cuencas de Ucayali y Madre de Dios.

5.1.3 Paleogeografía del Carbonífero superior – Pérmico inferior

Durante el Carbonífero superior – Pérmico inferior ocurre una trasgresión marina que originó el ingreso del mar por la parte Nor Oeste del continente Sudamericano llegando a formar un mar interno y restringido similar al actual

Mediterráneo generando un ambiente sedimentario ideal para los carbonatos. Figuras 105, 106.



Figura 105, Muestra la Paleogeografía de la tierra en el Carbonífero superior – Pérmico inferior, Google Earth modificado con la ubicación del mar de Tarma – Copacabana y su relación con el mapa del Perú actual.

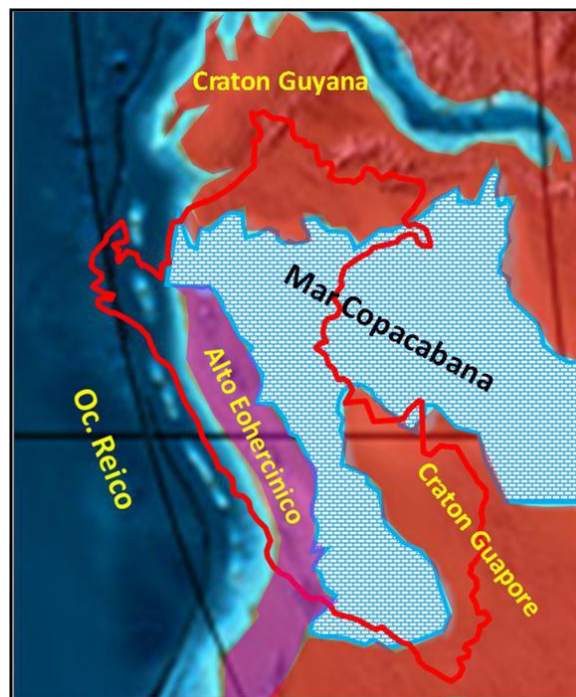


Figura 106, Muestra el mapa del mar de Copacabana con sus límites y extensión así como su relación y distribución con respecto al Perú actual, Google Earth modificado Seminario (2014)

5.1.4 Paleontología de Afloramientos

Los afloramientos de rocas de los Grupos Tarma – Copacabana más completo e importante en la cuencas de Ucayali – Madre de Dios corresponden al Pongo de Mainique los cuales han sido estudiados ampliamente por diferentes compañías petroleras como Petroperu, Chevron, Shell, Petrobras, Pluspetrol a lo largo de los últimos 40 años, habiéndose elaborado, reportes de campo, columnas estratigráficas y registro fotográfico. A continuación se hace un resumen paleontológico compilado de lo registrado en el Pongo de Mainique (Figura 107).

El Pongo de Mainique (Casa del oso en idioma Mashiguenga) es un accidente geográfico generado por el río Urubamba al atravesar el flanco oriental de la cordillera de los Andes, el cual corta transversalmente al eje del sinclinal lo que expuso todas las unidades estratigráficas desde Ordovícico hasta Cenozoico. Existen todas las Unidades Productoras del Área de Camisea, lo que lo ha hecho que sea un afloramiento muy importante para conocer directamente las rocas de la subcuenca de Camisea como se muestras en las Figuras 107, 108 y 109.

Ubicado en el distrito de Echarate, provincia de La Convención, departamento del Cusco, al Sur del Lote 58. En los siguientes mapas observamos su ubicación y geografía vista satelital.

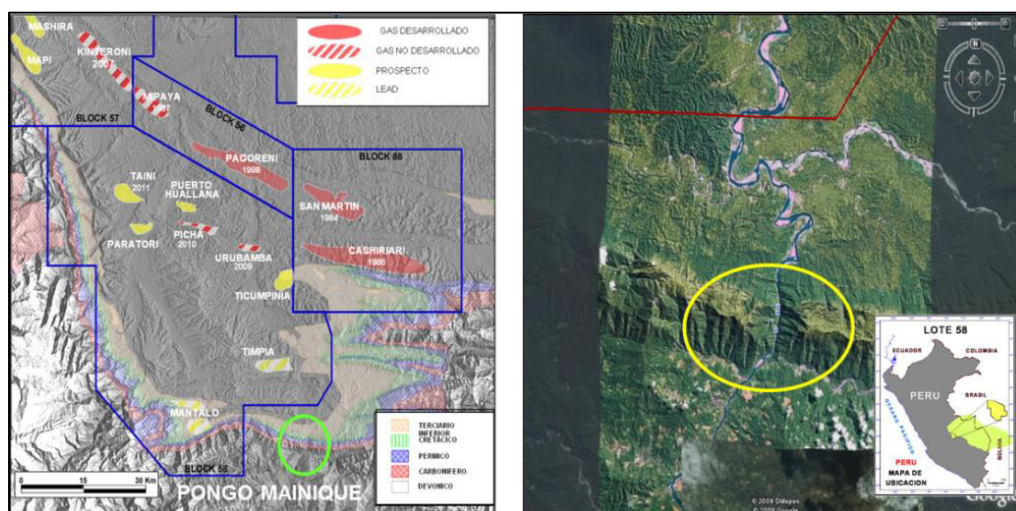


Figura 107, Mapa de ubicación del Pongo de Mainique. (Pozo, 2008).

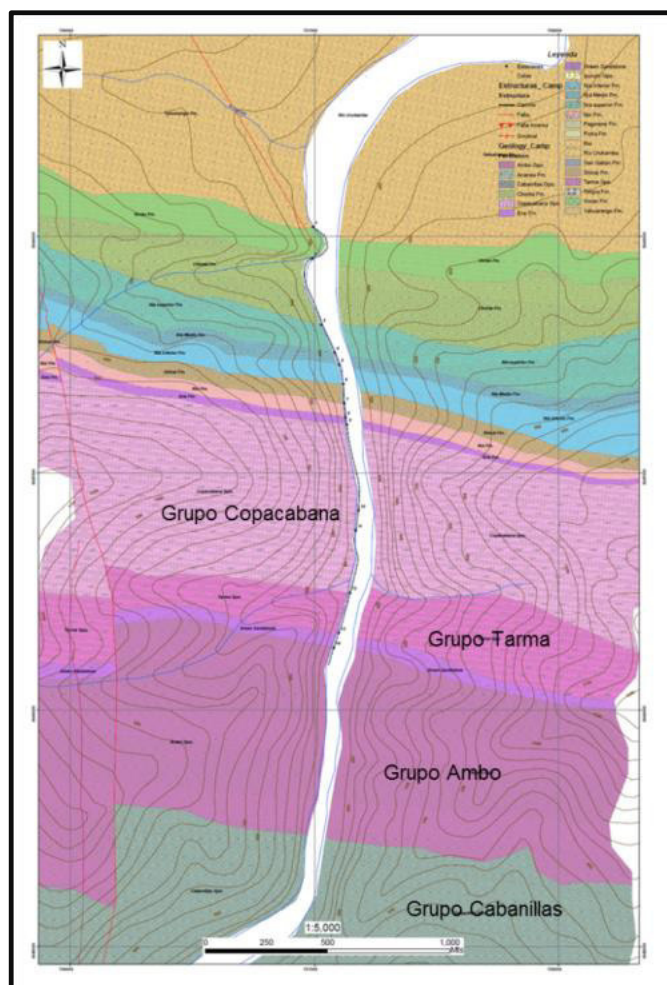


Figura 108, Mapa Geológico - Estratigráfico del Pongo de Mainique. (Pozo, 2008).

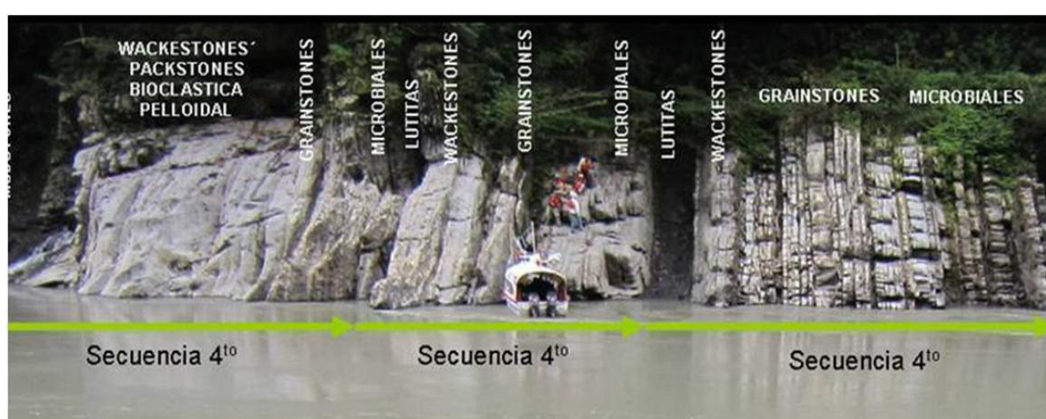


Figura 109 Fotografía panorámica de afloramiento de Copacabana en el Pongo de Mainique donde se indican las facies y una primera aproximación de Secuencias de cuarto orden. (Pozo, 2008).

Descripción de fósiles identificados y su relación con las facies sedimentarias descritas en el Pongo de Mainique.

Boundstone (Floatstone) soportado por matriz, componentes originales no conectados orgánicamente durante la deposición, granos mayor al 10% y mayor a 2 mm, los cuales se componen de braquiópodos y pelecípodos. (Figura 110 derecha).

Packstone/Floatstone, soportado por matriz, componentes originales no conectados orgánicamente durante la deposición, granos menor/mayor al 10% y mayor a 2 mm, los cuales se componen de corales: Clase Anthozoa, Subclase Zoantharia, Orden Rugosa. (Figura 110, fotografías izquierda, derecha).



Figura 110, Fotografía izquierda. Boundstone (Floatstone). Fotografía derecha. Packstone/Floatstone, (Pozo, 2008).

La identificación de estructuras biogénicas generadas por cianobacterias o microbolitos en los afloramientos de Copacabana son muy importantes para el mejor entendimiento del medio ambiente sedimentario, nuevos tipos de facies sedimentarias, porosidad primaria, construidas por organismos marino y no marinos, han sido registrados en el mundo desde el Proterozoico hasta el reciente. Todos son microscópicos, de formas filamentosas o concoideas, generando microfilmes orgánicos, responsables del entrampamiento y fijación de partículas sedimentarias, resultando en estructuras sedimentarias microbiales muy características que crecen generalmente en climas extremos de alta salinidad, clima árido, altas temperaturas, bajo nivel de agua, déficit de nutrientes, baja razón Mg/Ca en agua y altos niveles de CO₂ en aguas. (Figura 111).

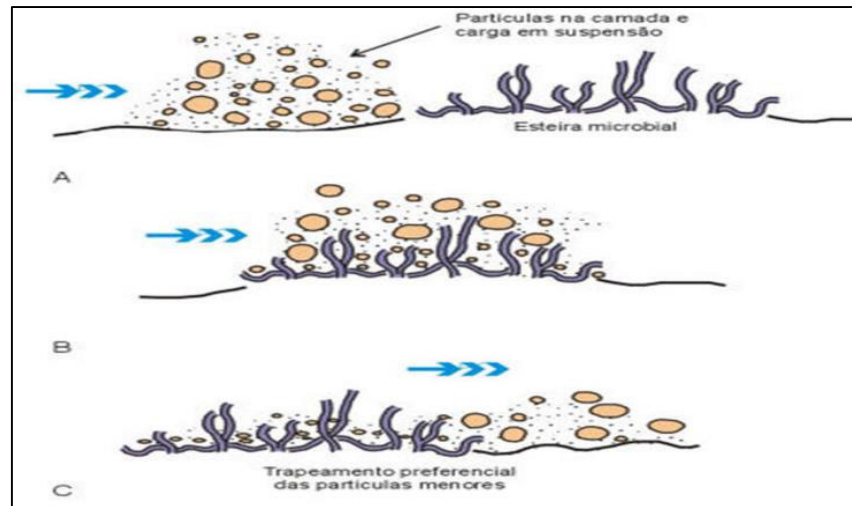


Figura 111, Diagramas A, B, C, ilustran atrapamientos selectivos de partículas menores por la comunidad microbiana bentónica, las partículas mayores son acarreadas por la corriente. Las partículas son aglutinadas en un enmarañado de filamentos de algunas micras de diámetro y largo, por una sustancia pegajosa, produciendo láminas milimétricas con superficie irregular y fábrica porosa (estructura fenestral). Modificado de (Riding, 1991).

La presencia de **Laminito Crenulado (Lmc)**, en los afloramientos de Copacabana del Pongo de Mainique se reconocen como rocas carbonáticas de granulometría fina (lodosa y/o peloidal) formada por la recurrencia de laminaciones delgadas, que tienden a ser plano – paralelas, con superficie lisa a crenuladas de origen microbial. (Figura 112).

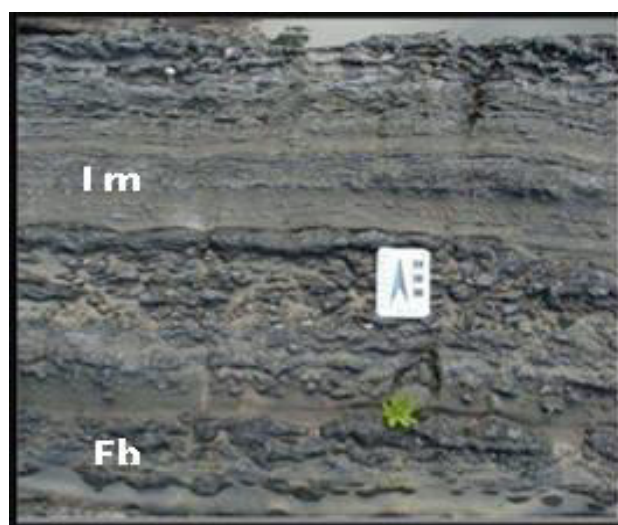


Figura 112, Laminito Crenulado (Lmc) reconocido en los afloramientos de Copacabana en el Pongo de Mainique. (Pozo G. 2012).

Leilolito, (Lei) rocas carbonáticas reconocidas en los afloramientos de Copacabana en el pongo de Mainique son de origen microbial de forma dómica, sin laminación o coágulos. Como se muestra Figura 113 (izquierda).

Bindstone (Bdst), rocas carbonáticas generadas por organismos (Icnofósiles) que se incrustan o son sus cuevas o viviendas (modo de vida) a lo largo de planos. Son organismos conectados durante la depositación. Generan porosidad visible tipo excavaciones y perforaciones (por diferencia de sedimentos). Como se muestra en Figura 113 (derecha).



Figura 113, Fotografía izquierda roca carbonática Leilolito (lei) Fotografía derecha roca carbonática Bindstone. reconocidas ambas en los afloramientos de Copacabana en el Pongo de Mainique. (Pozo, 2012).

Chert (Ch), Biofacies compuesta de sílice con restos de fósiles radiolarios? A manera de espículas los cuales podrían ser el origen de la sílice, (Figura 114).

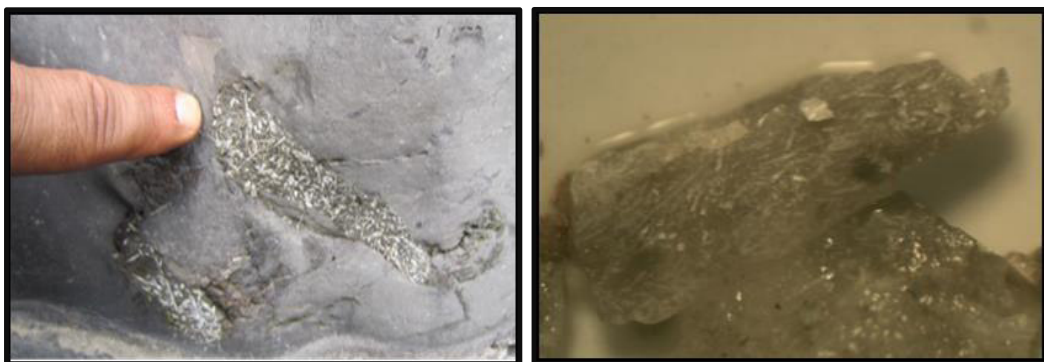


Figura 114, Fotografía derecha Chert con inclusiones de Radiolarios, muestra de campo. Fotografía izquierda muestra de la biofacie reconocida en el pozo Taini 3X en el tope del Grupo Copacabana. (Pozo, 2012).

Confluencia de ríos Perene con Ene, (Figura 115), se encuentran los afloramientos de rocas del Grupo Copacabana, geológicamente el afloramiento se encuentra ubicado en el Plunge Norte del alto de Otishi. En los cuales se ha encontrado información paleontológica valiosa para definir el tipo de fauna y su relación con el medio ambiente así como por primera vez se registró la presencia de reptiles anfibios y sedimentos de origen microbial.



Figura 115, Mapa de ubicación del afloramiento del Grupo Copacabana en la confluencia de los ríos Perene y Ene e inicio del río Tambo, se ha marcado el lugar de procedencia de las fotografías de fósiles que se muestran. (Pozo, 2013).

Rudstone, (Rs) Es una roca carbonática compuesta por bioelementos no asociados orgánicamente durante la depositación con componentes mayores a 2 mm. La caliza está compuesta por fragmentos de braquiópodos, pelecípodos, crinoideos, ver (Fotografías 116,116a y 117).



Figura 116, Fotografía izquierda. Roca carbonática Rudstone (Rs) Fotografía derecha. Rudstone (Rs). (Pozo, 2013).



Figura 116a, Fotografía izquierda. Rudstone (Rs), La roca carbonática está compuesta por fragmentos de braquiópodos, tallos crinoideos y placa de Briozoarios? Fotografía derecha. Rudstone (Rs), La roca carbonática está compuesta por fragmentos de Crinoideos. (Pozo, 2013).



Figura 117, Valvas de Braquiópodo. (Pozo, 2013).



Figura 118, Fósil de vertebrado probablemente reptil anfibio (*Eryops megacephalus*) (Pozo, 2013).



Figura 119, Fragmento fósil de vertebrado probablemente antebrazo de reptil anfibio (probablemente *Eryops megacephalus*) (Pozo, 2013).



Figura 120, Reproducción del reptil anfibio (*Eryops megacephalus* ¿?) del Pérmico inferior, (Pawley & Warren, 2006). Que podría corresponder a los huesos encontrados en el afloramiento del río Ene.

Las Figuras 118, 119 muestran los huesos fósiles por primera vez reportados de un reptil anfibio en rocas del Grupo Copacabana del Pérmico Inferior que apoyan la interpretación de un ambiente de plataforma marina interna con fuerte influencia continental en un clima semitropical a tropical y en la Figura 120 muestra una reproducción del citado reptil anfibio.

Las facies de rocas carbonáticas de origen microbial también se desarrollaron en los afloramientos del Grupo Copacabana en las confluencias de los ríos Perene y Ene. (Figuras 121 y 122).



Figura 121, Fotografía. Laminito Crenulado (Lmc) y Laminito Liso (Lml), roca carbonática de granulometría fina (lodosa y/o peloidal) formada por la recurrencia de laminaciones delgadas. Las laminaciones tienden a ser plano – paralelas, con superficie lisa (origen microbial o no). (Pozo, 2013).



Figura 122, Fotografía. Laminito Crenulado (Lmc) y Laminito Liso (Lml). (Pozo, 2013).

Los afloramientos del Río Alto Manu se hallan en el denominado arco de Fitzcarrall, los cuales se han indicado como la separación de las cuencas sedimentarias de Ucayali y Madre de Dios. Estos afloramientos fueron estudiados y medidos en el año 1967 por los geólogos de IPCo (International Petroleum Company), tales como Hugo Valdivia y Angel

Rejas. Posteriormente se continuarón los estudios por la Compañía Petroperú hasta el año 1972. Los estudios de campo se hicieron en los afloramientos de rocas del Devónico, Pensilvaniano, Pérmico, Jurásico – Triásico y Cretácico Inferior en las quebradas tributarias del río Alto Manu. Las muestras extraídas en el Grupo Tarma – Copacabana corresponden a los afloramientos de las quebradas de Manu Chico y Alto Manu.

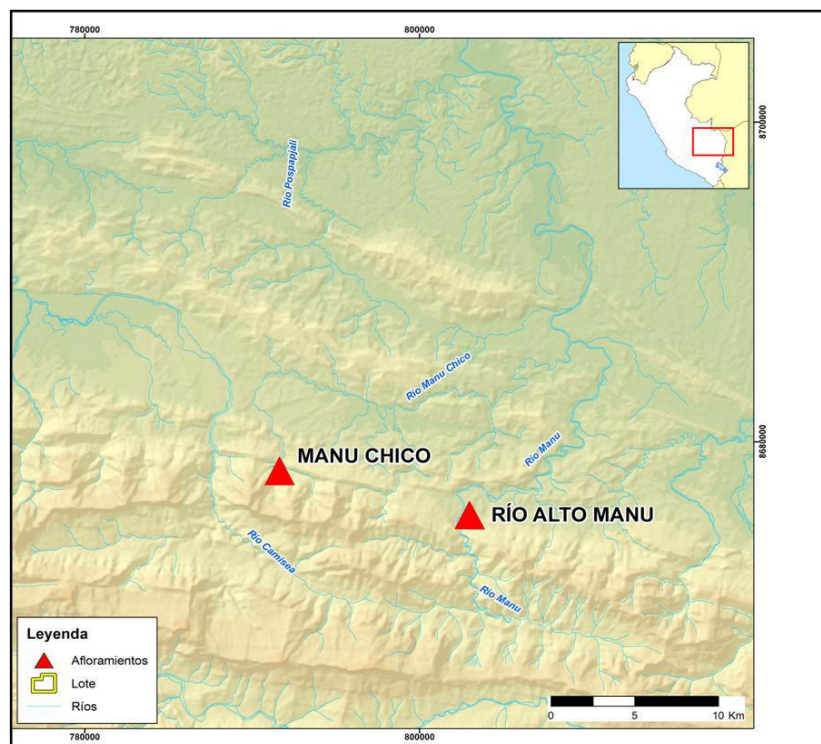


Figura 123, Muestra mapa de ubicación de las quebradas de Manu Chico y Río Alto Manu. Tomado de (Valdivia 2013).

A continuación hacemos un registro fotográfico de las facies sedimentarias y de los fósiles encontrados en cada una de estas, es importante mencionar que las muestras fueron recolectadas hace mas de 50 años y que recién en el año 2013 se realizaron los estudios y análisis de cada muestra por encargo de la Compañía Pluspetrol. Las muestras estudiadas corresponden al los Grupos Tarma – Copacabana, de los afloramientos en la quebradas de Manu Chico y Alto Camisea en el área del Alto Manu. (Figuras 123 a la 132)..

Wackestone, (Ws) de color gris claro, con abundante presencia de fragmentos de conchas y espículas, en parte superior resto fósil de braquiópodo, y en la parte inferior se observan espículas cortadas transversal y longitudinal con fragmentos de conchas. (Figura 124 izquierda)

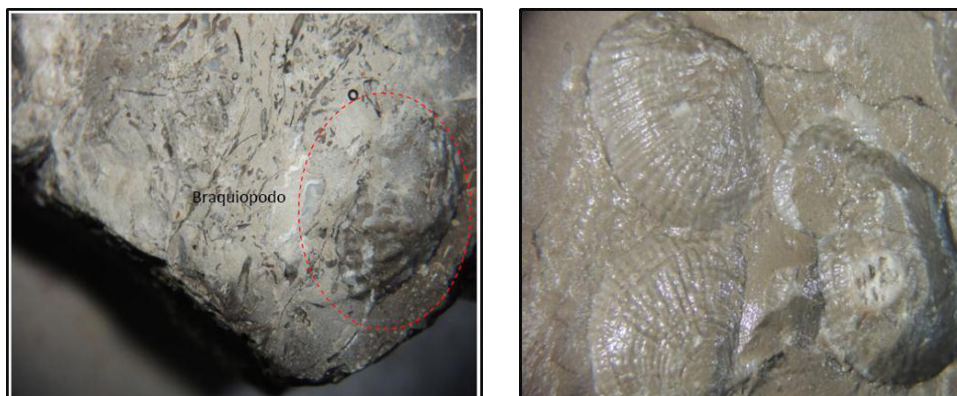


Figura 124, Fotografía izquierda. Wackestone, Fotografía derecha detalle de fósiles de braquiópodos. (Valdivia 2013).

Packstone, de color gris pardo de grano medio, compuesto por algas mud y fusulinidos en matriz micrítica con laminación ondulada. En la Figura 125 derecha se observa calizas Packstone de color amarillo parduzco de grano medio compuesto por microfósiles tales como fragmentos de conchas, fusulinos y briozoarios dentro de cemento micrítico. Figura 125 izquierda se observa microfracturas rellenas de calcita.

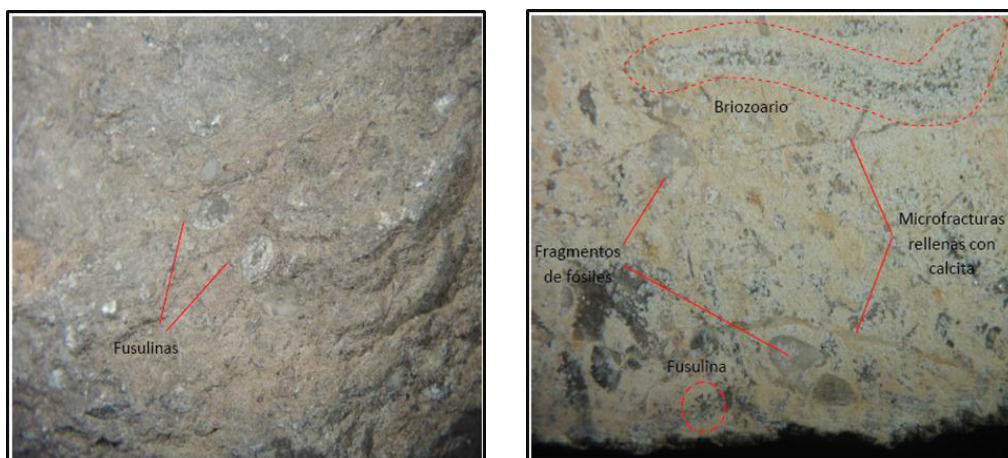


Figura 125, Fotografía izquierda, Packstone, Fotografía derecha Packstone, (Valdivia 2013).

Grainstone, de color pardo blanquecino, de grano medio a grueso, compuesto por fragmentos de conchas y fusulinias dentro de un cemento esparítico. (Figura 126 izquierda).

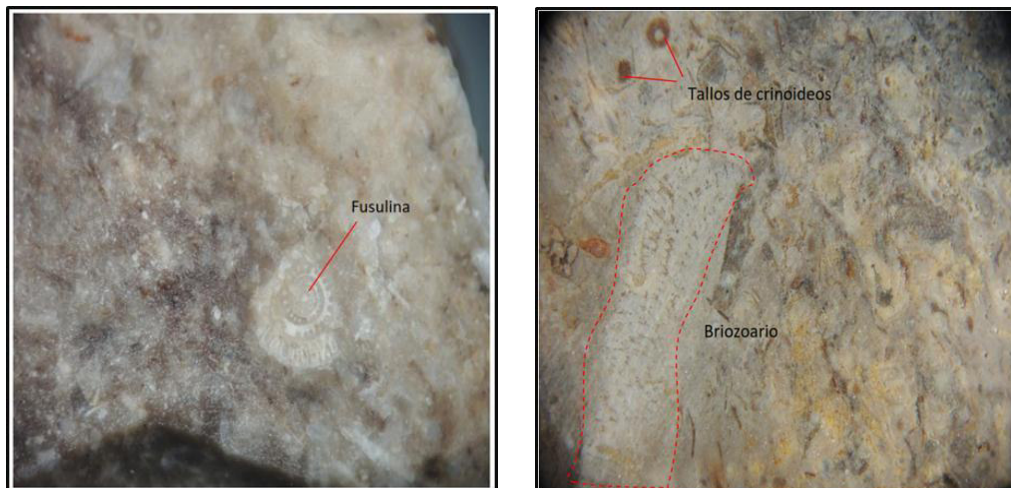


Figura 126, Fotografía izquierda. Grainstone, de color pardo blanquecino y de grano medio a grueso, compuesto por fragmentos de conchas y Fusulinias dentro de un cemento esparítico., Fotografía derecha, columela de crinoideos y briozoarios. (Valdivia 2013).

Packstone, de color gris parduzco, de grano fino a medio y cemento microesparítico, presenta espículas y fragmentos de conchas. También presenta macrofósiles braquiópodos. (Figura 127).

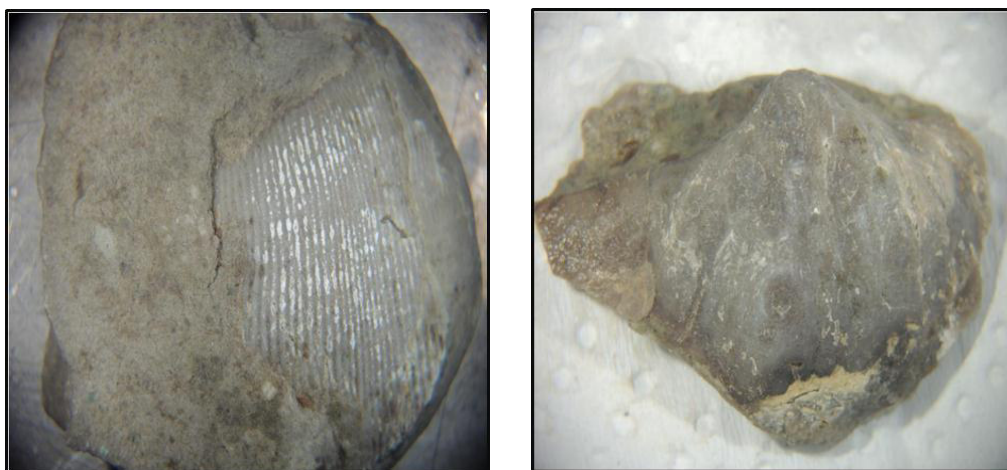


Figura N° 127, Fotografía izquierda. Fósil de braquiópodo (Spirifer). Fotografía derecha, Packstone con fósiles de braquiopodos. (Valdivia 2013).

Microfósiles Fusulinas. Figura 128.

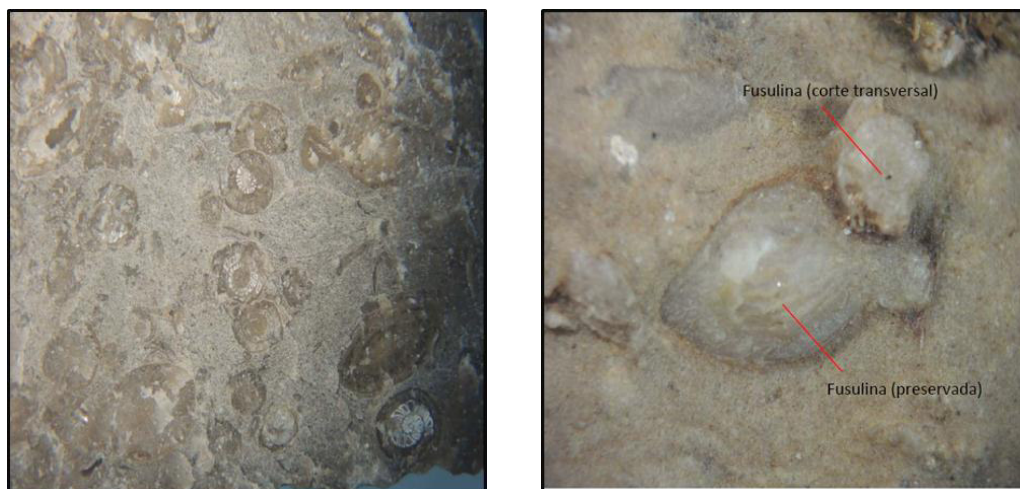


Figura 128, Fotografía izquierda. Microfósiles de fusulinas (corte transversal). Fotografía derecha. Microfósil de dos fusulinas una en corte transversal y otro preservado. (Valdivia 2013).

Microfósiles de tallos de Crinoideos. Figura 129.

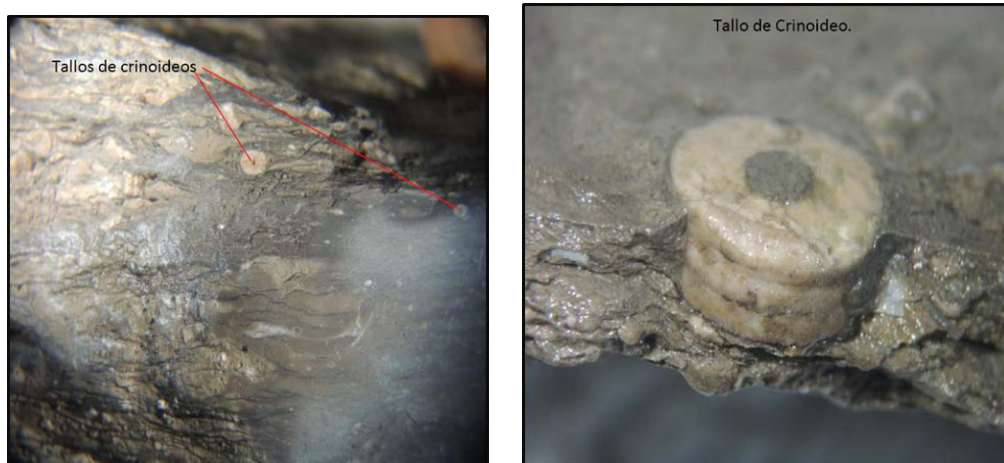


Figura 129, Fotografía izquierda. Microfósiles de tallos de crinoideos. Fotografía derecha. Detalle de microfósil de tallo de crinoideo. (Valdivia 2013).

Afloramiento de Alto Camisea área de Manu se continua con el registro fotográfico de los fósiles encontrados y descritos en las muestras de los Grupos Tarma – Copacabana, en la quebrada de Alto Camisea, los cuales han sido el soporte para interpretación paleo-ambiental de las rocas.

Mudstone esparítico, gris oscuro, de grano fino, con contenido de materia orgánica y presenta espinas de crinoideos recristalizados, Con sección de detalle de tallo de crinoideo. (Figura 130).



Figura 130, Fotografía izquierda. Presenta espinas de crinoideos recristalizados. Fotografía derecha detalle de tallo de crinoideo. (Valdivia 2013).

Grainstone, de color gris oscuro, de grano medio, compuesto por fusulinas recristalizadas dentro de cemento esparítico. Figura 131.

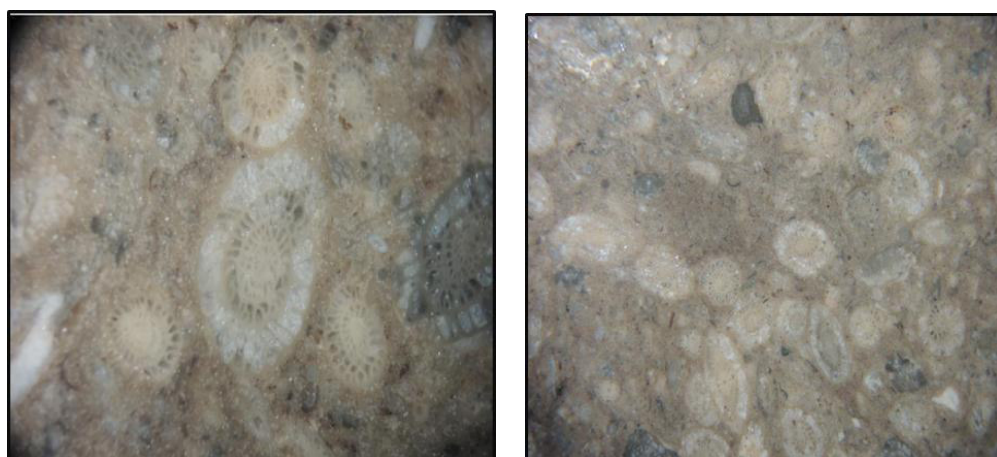


Figura 131, Fotografía izquierda. Grainstone, de color gris oscuro, de grano medio. Compuesto por Fusulinas recristalizadas dentro de cemento esparítico. Fotografía derecha, microfósiles de foraminíferos fusulinas en diferentes cortes. (Valdivia 2013).

Estructura de Origen Microbial, Fotografía 132.



Figura 132, Fotografía muestra parte de estromatolito domico de origen microbial. (Valdivia 2013).

5.1.5 Bioestratigrafía – Cronoestratigrafía

La primera subdivisión bioestratigráfica del Grupo Tarma – Copacabana se realizó en cinco Zonas Bioestratigráficas por (Newell, 1953), las cuales fueron nombradas tomando el nombre de la especie tipo de cada una.

- **Biozona *Fusulinella* – *Profusulinella*.** Ocurre en el Grupo Tarma y se correlaciona con el Pensilvaniano medio temprano del periodo Atokan de Norteamérica en el Perú se data Pensilvaniano medio. Los fósiles marcadores y representativos de esta biozona son *Profusulinella* spp., *Fusulinella* spp., *Neosperifer cameratus*, *Spirifer* aff. *optimus*, *Cinclidomena* sp., *Pseudopalaelegoceras peruvianus*, *Chaeletes* sp., *Rhipidomella penniana*.
- **Biozona *Silvaseplopore*.** Se desarrolla en la parte basal del Grupo Copacabana, se correlaciona con el Pensilvaniano Superior, con su mayor desarrollo en el Perú sur – central, con fauna característica tales como: *Triticites pajarensis*, *Pseudoschawagerina broggi*, *Silvaseplopore incaica*, *Polypora andina*, *P. spissa*, *Reticulariina otava*, *R. patula*, *Kiangsiella pinguis*, *Dictyoclaostus boliviensis*.

- **Biozona *Triticites optimus*.** Se aparece en la parte media del Grupo Copacabana de amplio desarrollo, con fauna característica tales como: *Triticites pillahuarensis*, *Triticites optimus*, *T. patulus*, *T. titicacaensis*, *Pseudofusulina rauvilcensis*, *Pseudoschawagerina vilcanotensis*, *Schawagerina staimanni*, *Schubertella kingi*, *Dunbarinella huantensis*.
- **Biozona *Pseudoschawagerina uddeni*.** Se desarrolla en la parte superior del Grupo Copacabana y se correlaciona en el Pérmico el tope de esta zona se caracteriza por ser no fósilífera, en descripción de muestras de canaleta y núcleos de pozos perforados se describe chert que podría ser de origen biogénico ya que se describen espículas de radiolarios. La fauna de la característica y diagnósticas son fusulinidos, las principales fósiles descritos son : *Pseudoschawagerina uddeni*, *Schawagerina bowmani*, *S. oxia*, *Dunbarinella mantaroensis*, *Rugosofusulina incaica*.
- **Biozona *Parafusulina*.** Se desarrolla en la parte superior del Grupo Copacabana, se correlaciona con el Pérmico medio, no siempre se le encuentra y describe puede pasar a la Unidad que sobreyace Formación Ene. La fauna de la característica y diagnósticas son: *Parafusulina spp.* *Pseudofusulina andina*, *Streptorhynchus cyrano*, *Pseudofusulina melaformata*, *Composita minuscula*, *Wellerella minuta*.

Nuevos aportes al conocimiento paleontológico se describen en el presente trabajo como son la identificación y descripción de Microbiales en los afloramientos del Pongo de Mainique, Río Tambo y Alto Camisea indicativos de un ambiente marino a lagunar extremo y el hallazgo importante de los huesos de un reptil anfibio en los afloramientos del Río Tambo ambos son indicativos de ambientes marinos someros y de una costa tropical a semitropical. (Figuras 118 y 119).

5.2 Metodología de análisis de estratigrafía de Secuencias en Tercer Orden

La metodología utilizada para la aplicación de Estratigrafía de Secuencias tiene dos variables en la metodología la que se realiza con información de afloramientos de rocas usando la clasificación de (Dunham, 1962) con las

modificaciones de (Embry, & Klován, 1971) y (Terra, 2010). Para los silicoclásticos (Posamentier & Walker, 2006). la metodología para identificar y clasificar facies usando información principalmente, perfiles de pozos, muestras de canaleta y núcleos, para luego aplicar la integración roca – perfil usando los patrones de apilamiento principalmente. A continuación se describe:

5.2.1 Metodología de Campo

- Se hicieron levantamientos sedimentológicos de campo o se usan los existentes donde se tiene el perfil granulométrico del sedimento (por ejemplo, arena gruesa, arena fina, limolita, sus espesores, etc), los rasgos y estructuras sedimentarias identificadas (por ejemplo, evidencias de fluidización en los sedimentos, estratificación cruzada en artesa, etc) y las paleocorrientes, conjunto de observaciones que definen las **facies sedimentarias**.
- Se utilizaron la nomenclaturas de las facies utilizando como principio el introducido por (Miall, 1977), y basados en la nomenclatura de Embry & (Klován, 1971), (Terra, 2010) y (Posamentier & Walker, 2006). La primera letra en mayúscula para las litologías, la segunda letra puede ser aclaratoria de la litología o estar relacionada a la textura y estilo de la capa o lámina. Para geometría externa, o algún carácter especial se puede utilizar la tercera letra, (por ejemplo Lmc, laminito crenulado).
- Se realizaron las **asociaciones de facies** y los datos de orientación y se interpretan los elementos arquitecturales componentes de los subambientes y ambientes sedimentarios.
- Se realizaron un control estructural del área del afloramiento observando los rasgos estructurales locales del área de estudio. En caso de subsuelo es importante tomar en cuenta la información de registros de inclinación de los estratos y enmarcar puntos de control con el GPS.
- Basados en la definición de los **elementos arquitecturales** y los **ambientes sedimentarios** presentes se determinana las **superficies llaves**, con el proposito de jerarquizar y marcar el inicio y fin de los

sistemas encadenados de las **Secuencias Estratigráficas de Tercer Orden**. Figura 133.

- Síntesis General: con base en el **patrón de apilamiento** del conjunto de **sistemas encadenados** se proponer el marco de **Estratigrafía Secuencial** (Secuencias Estratigráficas de distintos órdenes y sus respectivos sistemas encadenados).

5.2.2 Metodología del Subsuelo.

- Para la metodología de aplicación de Estratigrafía de Secuencias en el subsuelo es importante tener el conocimiento de campo de las **facies sedimentarias** que componen al Grupo Tarma – Copacabana en los diferentes afloramientos, así como tener dominio sobre la respuesta de los diferentes **perfiles de pozo** a la composición litológica y la definición de los patrones de apilamiento (progradante, retrogradante, agradante).
- Para determinación de las **superficies llaves** con sísmica de subsuelo se utilizan las terminaciones estratales (*Toplap, Offlap, Onlap, Downlap, Onlap*, Discordante) y se delimitan los Sistemas Encadenados y las Secuencias Estratigráficas.
- Es importante realizar la integración de toda la información roca – perfiles – sísmica y realizar el análisis de Estratigrafía Secuencial para definir las **Secuencias**. Figura 133.
- Realizar correlaciones de pozos y si la resolución y calidad sísmica lo permiten integrarla a la correlación, finalizando en la elaboración de mapas para cada sistema encadenado mostrando su distribución en las cuencas de Ucayali y Madre de Dios.

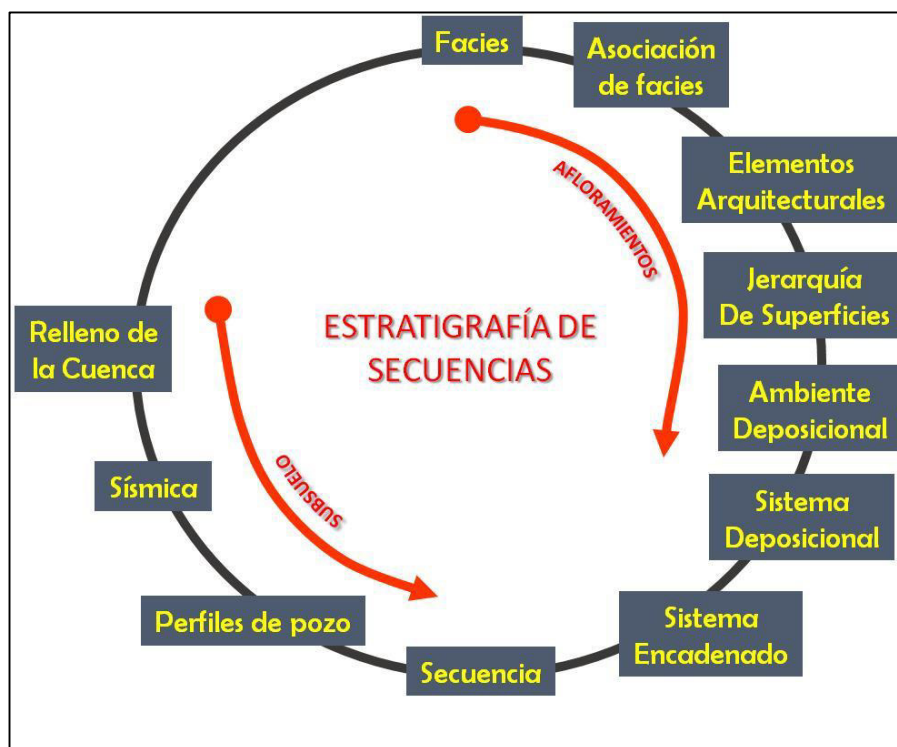


Figura 133, Flujograma de la Metodología de Aplicación de Estratigrafía de Secuencias para afloramientos y el subsuelo. (Pozo. 2015)

5.2.2.1 Facies Sedimentarias Descri tas en Afloramientos

Objetivo 1

El término facies fue utilizado en el sentido descriptivo, siendo que una facie es definida por un conjunto de características, como composición, presencia o ausencia de matriz, granulación, textura, color y estructuras sedimentarias. Ejemplos de facie en el presente trabajo: grainstone , Boundstone.

El reconocimiento, análisis e interpretación de las distintas facies sedimentarias y asociaciones de facies que componen la Unidad Tarma - Copacabana en las cuencas sedimentarias del Oriente Peruano, se realizó revisando los reportes e informes de la información disponible de afloramientos y del subsuelo del área, principalmente afloramientos, núcleos, muestras de canaleta y perfiles eléctricos de pozos.

Arcillitas (Lf), Arcillitas grises oscuras, fisibles. **Margas (Mf)**, Margas gris a gris oscuro, en parte fisibles, calcáreas con alto contenido de minerales de arcilla. (Figura 134).



Figura 134, Fotografía izquierda, Arcillitas grises facie sedimentaria descrita en Pongo de Mainique. Fotografía derecha, Marga facie sedimentaria descrita en Pongo de Mainique. (Pozo. 2012).

Mudstones (Ms), de color gris parduzco con escaso fósiles recristalizados y moldes internos macrofósiles (braquiópodos). (Figura 135).

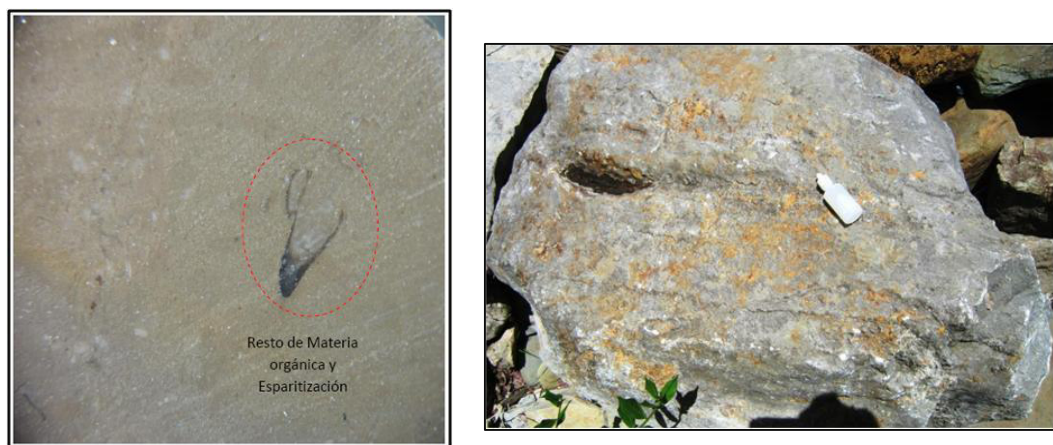


Figura 135, Fotografía izquierda Mudstone facie sedimentaria descrita en quebrada de Manu Chico. Valdivia H. 2013. Fotografía derecha Mudstone con estilolitas, facie sedimentaria descrita en el río Perene. Pozo G. 2013.

Wackestone (Ws), de color gris parduzco y grano fino, presenta contenido de fragmentos fósiles y secciones transversales de valvas dentro de cemento micrítico. (Figura 136).

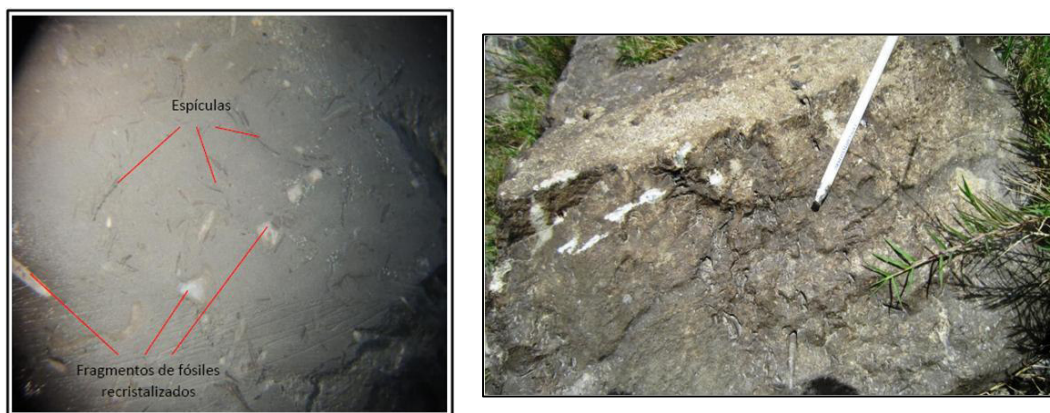


Figura 136, Fotografía izquierda, Wackestone facie sedimentaria descrita en quebrada de Manu Chico. (Valdivia. 2013). Fotografía derecha, Wackestone facie sedimentaria descrita en río Perene. (Pozo. 2013).

Packstone (Ps), de color amarillo parduzco de grano medio compuesto por microfósiles como fragmentos de conchas, Fusulinas y briozoarios dentro de cemento micrítico. Presenta microfracturas rellenas de calcita. (Figura 137).

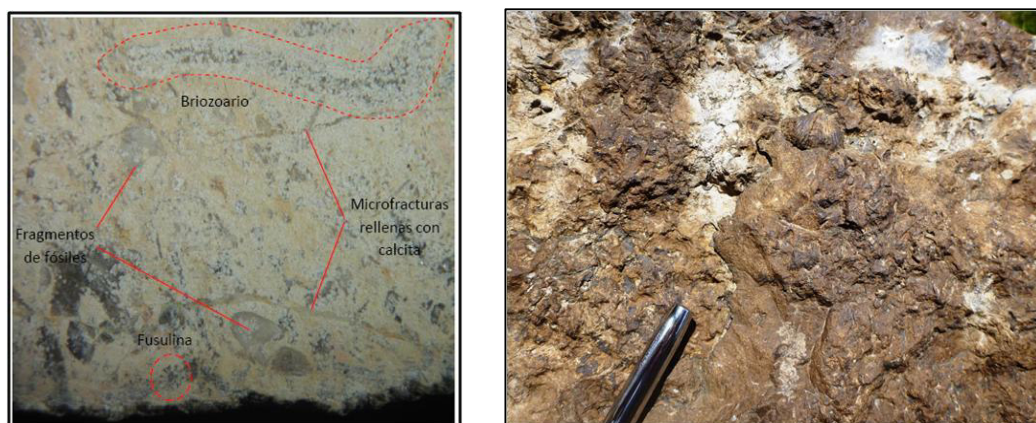


Figura 137, Fotografía izquierda, Packstone facie sedimentaria descrita en quebrada de Manu Chico. (Valdivia. 2013). Fotografía derecha Packstone facie sedimentaria descrita en río Tambo. (Pozo. 2013).

Grainstone (Gs_f), de color gris medio, de grano compuesto por Fusulinas recristalizadas con escaso cemento esparítico. (Figura 138).

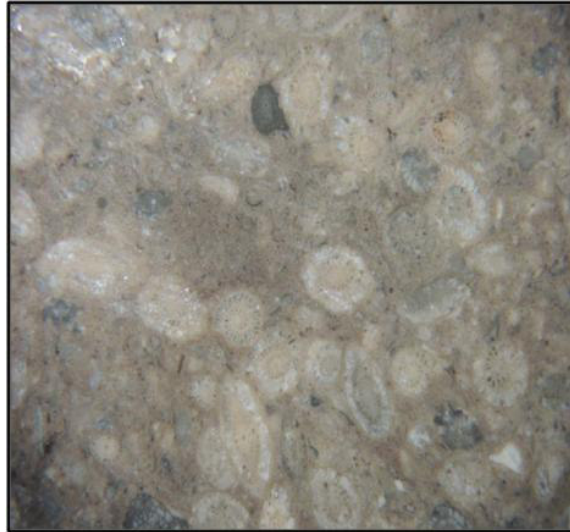


Figura 138, Grainstone facie sedimentaria descrita en quebrada de Alto Camisea. (Valdivia. 2013).

Grainstone (Gs), gris clara de textura grano soportado no mayor a 2mm con escasa matriz, buena porosidad visible de tipo móldica – vulgar. (Figura 139).



Figura 139, Grainstone facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2012).

Floatstone (Fs), Caliza de color gris claro, con fósiles de tamaño regular a grande soportado por matriz micritica. (Figura 140).



Figura 140, Floatstone facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2012).

Chert (Ch), Sílice amorfa se encuentra dispuesta en forma nodular y paralela a las capas, puede ser de origen biogenico por disolución de espículas de radiolarios. (Figuras 141, 142).



Figura 141, Fotografía izquierda Chert facie sedimentario descrito en el Pongo de Mainique. Fotografía derecha, Chert nodular facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2012).



Figura 142, Fotografía izquierda, Chert nodular facie sedimentaria descrita en el río Perene. Fotografía derecha Chert fracturado, facie sedimentaria descrita en el río Perene. (Pozo. 2013).

Dolomías (D), Facies Diagenéticas de reemplazamiento de carbonato de calcio por carbonato de calcio y magnesio (cristalizado), desarrolla porosidad intercrystalina, potenciales rocas reservorio.(Figura 143).



Figura 143, fotografía izquierda, Dolomía facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. Fotografía derecha, Dolomía se observa la porosidad intercrystalina descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2012).

Bindstone (Bs), Calizas generadas por organismos que se incrustan paralelos al fondo y conectados durante la depositación. Generan porosidad tipo fenestral ó boring. (Figura 144).



Figura 144, Bindstone, facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2012).

Grainstone (Gs_t), gris clara de textura grano soportado fino, con estratificación cruzada tipo tidel bundle. (Figura 145).

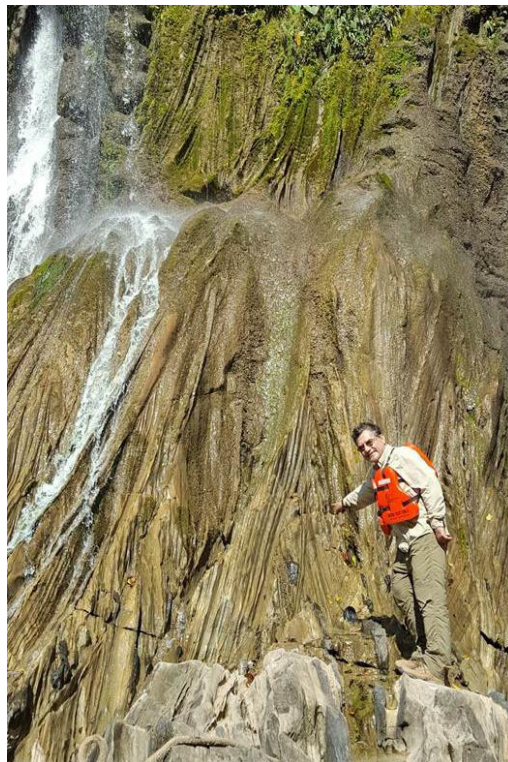


Figura 145, Afloramiento con calizas grainstone con estratificación cruzada tipo tidel bundle, facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2017).

Grainstone (Gs_t), gris clara amarillenta de textura grano soportado fino, con estratificación cruzada tipo tidal bundle. (Figura 146).



Figura 146, Grainstone con estratificación cruzada tidal bundle, facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2017).

Rudstone (Rs), Caliza formada por fragmentos mayormente rotos de diferentes tamaños y especies (bioclastos) de bioclastos. (Figura 147)



Figura 147, Rudstone, facie sedimentaria descrita en el río Tambo. (Pozo. 2013).

Boundstone (Bo), Caliza formada por fragmentos mayormente bien preservados e in situ. y alineados en capas. (Figura 148).



Figura 148, Boundstone, facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2012).

Trombolito (T), Carbonato con textura macroscópica coagulada, maciza y dómica, Mayormente de origen microbial. (Figura 149).



Figura 149, Trombolites, facie sedimentaria microbial descrita en el río Tambo. (Pozo. 2013).

Leiolito (L), Carbonato microbial dómico, sin laminación o coagulos. (Figura 150).



Figura 150, Leiolito, facie sedimentaria microbial descrita en el río Tambo. (Pozo. 2013).

Laminito (Lm), Roca carbonática de granulación fina (arcillosa o peloidal), formada por la recurrencia de laminas delgadas. Laminaciones tienden a ser plano – paralelas. Con superficie lisa (origen microbial o no) superficie crenulada (origen microbial) (Figura 151).



Figura 151, Laminito, facie sedimentaria descrita en el río Tambo. (Pozo. 2013).

Packstone (P_t), gris clara con bioclastos matriz soportado, con estratificación cruzada tipo tidal budle. (Figura 152).



Figura 152, Packstone, facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2017).

Caliza – Dolomítica, (Cd). (Figura 153).



Figura 153, Caliza dolomítica, facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2017).

Areniscas (A_s_g/f), Areniscas de color gris verdosa con estratificación cruzada sigmoidal, de grano muy grueso a fino. (Figura 154).



Figura 154, Areniscas verdes sigmoidales, facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2017).

Areniscas (A_ba_mg), Areniscas de color gris verdosa con estratificación cruzada bajo ángulo, grano muy grueso. (Figura 155).



Figura 155, Areniscas gris verdes con estratificación cruzada de bajo ángulo, descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2017).

Areniscas (App), Areniscas de color verde de grano fino a muy fino con estratificación plano paralela a bajo angulo. (Figura 156).



Figura 156, Areniscas verdes, estratificación plano paralela, facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2017).

Areniscas limolíticas (Al), verde amarillentas, disturbada de aspecto brechado. (Figura 157).



Figura 157, Areniscas Limolitica, facie sedimentaria descrito en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2017).

Areniscas (A_t) Areniscas de color verde de grano fino a muy fino con estratificación tidal bundle. (Figura 158).



Figura 158, Areniscas verdes, estructura espina de pescado, facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2017).

Areniscas (A_s), Areniscas de color verde de grano fino a muy fino con estratificación cruzada sigmoidal. (Figura 159).



Figura 159, Areniscas con estratificación sigmoidal, facie sedimentaria descrita en el Pongo de Mainique. (Pozo. 2017).

5.2.2.2 Asociación de Facies Sedimentarias

Objetivo 2

Naturalmente, como lo enfatizado por [Wilson \(1975\)](#), la naturaleza autóctona de las rocas carbonáticas, en parte in situ, e incluso cuando se transportan, permaneciendo próximas donde el sedimento se originó, ofrece una gran ventaja en la interpretación ambiental.

Sin embargo, es importante definir la asociación de fácies como el grupo de facies genéticamente relacionadas que tienen un significado ambiental (lo que es esencial para una interpretación ambiental más precisa. La base para esa interpretación, a partir de la Asociación de Fácies, es la llamada Ley de Walther, según la cual una determinada sucesión vertical representa la proyección de los ambientes depositantes contiguos lateralmente existentes al tiempo de la formación de la sucesión. Ejemplos de asociación de fábricas: Bioconstrucción microbiana, llanura superficial, playa, rampa externa.

A través del estudio detallado de la roca se identificaron 26 tipos de fácies sedimentarias a partir de los cuales fueron determinadas 9 Asociación de Fácies.(Figura 160).

1. ARCILLITAS	(Lf)	14. BINDSTONE	(Bs)
2. MARGAS	(Mf)	15. RUDSTONE	(Rs)
3. MUDSTONE	(Ms)	16. BOUNDSTONE	(Bo)
4. WACKESTONE	(Ws)	17. TROMBOLITO	(T)
5. PACKSTONE	(Ps)	18. LEIOLITO	(L)
6. PACKSTONE	(Ps_t)	19. LAMINITO	(Lm)
7. GRAINSTONE	(Gs_f)	20. CALIZA DOLOMÍTICA	(Cd)
8. GRAINSTONE	(Gs_t)	21. ARENISCAS	(App)
9. GRAINSTONE	(Gs)	22. ARENISCA	(As_g/f)
10. FLOATSTONE	(Fs)	23. ARENISCA	(A-ba_m/g)
11. CHERT	(Ch)	24. ARENISCAS LIMOLITICAS	(Al)
12. DOLOMÍAS	(D)	25. ARENISCA	(A_t)
13. ANHIDRITA	(A)	26. ARENISCA	(A_s)

Figura 160, Facies carbonatadas definidas en La Unidad Tarma – Copacabana.

5.2.2.3 Elementos Arquitecturales – Subambientes

Las asociaciones de facies sedimentarias vinculadas han determinado los siguientes elementos arquitecturales y subambientes que corresponde a la subdivisión morfológica de los ambientes deposicionales el cual es caracterizado por un determinado conjunto de elementos arquitecturales que se caracterizan por la asociación de facies, geometría y procesos deposicionales.

Es importante tener en cuenta el cambio progresivo vertical y lateral de las propiedades de las facies que van a determinar la continuidad de los Elementos Arquitecturales, Subambientes que integrados constituyen los ambientes sedimentarios, como se muestra en la Figura 161.

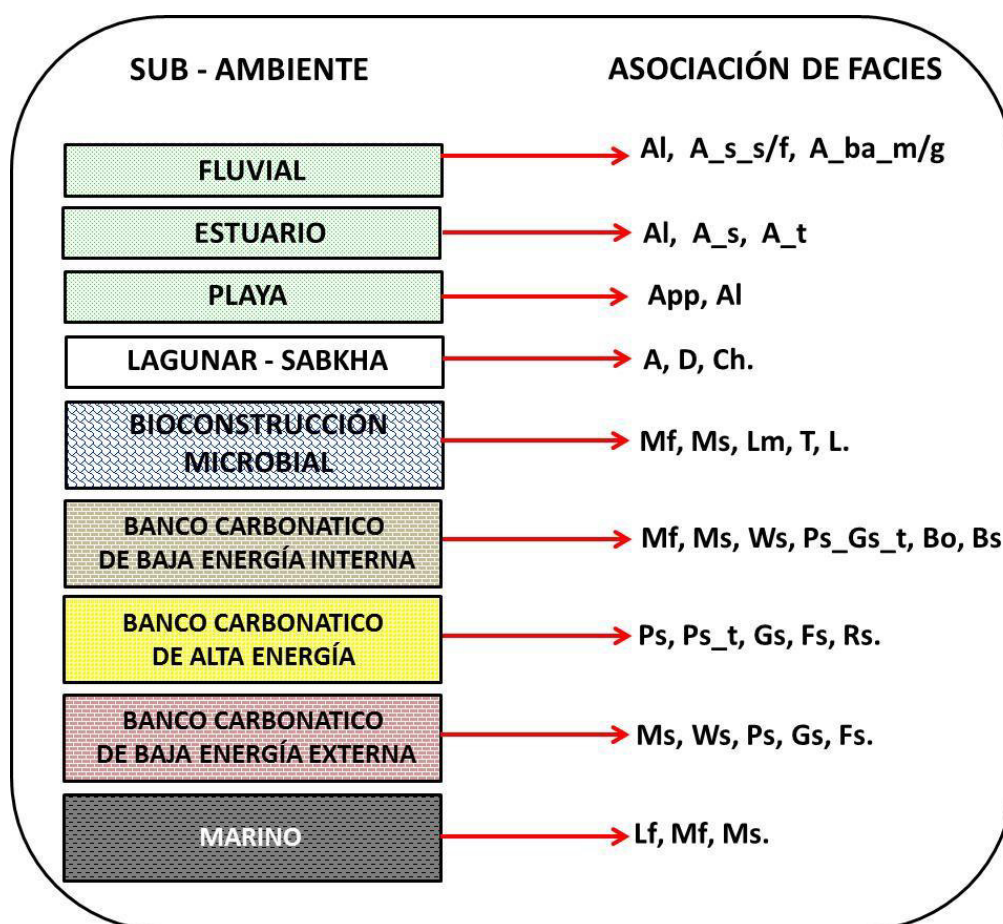


Figura 161, Asociación de Facies Sedimentarias y la determinación de los ambientes sedimentarios en La Unidad Tarma – Copacabana.

Barras y Canales Fluvio - Estuarinos, conformada por la sucesión retrogradante de facies sedimentarios con orientación general Este – Oeste

constituida por cuatro facies sedimentarias originadas por procesos de los medios fluvial y estuarino. La asociación de facies es : Areniscas (A_s_g/f) de color gris verdosa con estratificación cruzada sigmoidal; Areniscas (A_ba_mg) de color gris verdosa con estratificación cruzada bajo ángulo, grano muy grueso; Areniscas (App) de color verde de grano fino a muy fino con estratificación plano paralela a bajo angulo; Areniscas limolíticas (Al), verde amarillentas, disturbada de aspecto brechado. El tipo de estructura dominante, las características de las facies asociadas han permitido establecer que los elementos arquitecturales corresponden al modelo sedimentario de estuarios dominados por mareas, cuya aplicación es de suma importancia tanto en la localización de estos elementos como rocas reservorio y como de trampas estratigráficas para el desarrollo de la exploración de hidrocarburos. (Figuras 161, 162 y 163).

Playas, conformada por la sucesión agradante de facies sedimentarios con orientación general Norte – Sur se desarrolla lateralmente donde no existe los depósitos fluvio estuarinos, o también puede ser cortada o subyaciendo a los depósitos estuarinos. Se resalta que las rocas depositadas en los ambientes continentales constituyen las rocas reservorios de origen silicoclastico y con características poro – permeables. La asociación de facies es : Areniscas (App) de color verde de grano fino a muy fino con estratificación plano paralela a bajo angulo; Areniscas limolíticas (Al), verde amarillentas. (Figuras 161, 162 y 163).

Sabkha – Lagunas a Marino restringido, conformada por la sucesión agradante de facies sedimentarios con orientación general paralela a la paleo línea de costa. Se destaca que en las partes mas proximales la presencia de los depósitos de sales constituyen las rocas sellos por su condición de lata impermeabilidad de los reservorios silicoclásticos. La Asociación de Facies es de dolomías (D), anhidrita (A), chert (Ch) y cantidades menores de halita, arcilla y arenisca. Estas facies se hallan distribuidas rítmicamente. Se consideran las facies más proximales depositadas en un medio lagunar a marino restringido separado del mar abierto por barras. Las pelmicritas son típicas de lagoons actuales, mientras

que las dolomías y evaporitas pueden ser de precipitación primaria en fondos de lagoons o por diagénesis en depósitos intra o supramareales, reconocidos como ambientes Sabkha. (Figuras 161, 162 y 163).

Bioconstrucciones Microbiales, se desarrollan en la planicie o rampa somera con muy poco nivel de agua muy salina, en condiciones de climas extremos y altas temperaturas, con escasos de nutrientes y niveles altos de CO₂ en agua.

Las rocas se caracterizan por su laminación conspicua, infra-milimétrica a milimétrica. La microfábrica de las láminas muestra una gran variedad en todas las frecuencias de ciclicidad, pudiendo ser micrítica, peloidal, grumosa, arbustiforme (*shrubs*), microdigitada, microcristalina, microdolomizada. Las muestras de exposición, caracterizadas macro y microscópicamente, se observan con relativa frecuencia. La Asociación de Facies es: de Trombolito (T) Carbonato con textura macroscópica coagulada, maciza y dómica, Mayormente de origen microbial, Leiolito (L) Carbonato microbial dómico, sin laminación o coagulos; Laminito (Lm), Roca carbonática de granulación fina (arcillosa o peloidal), formada por la recurrencia de laminas delgadas, laminaciones tienden a ser plano – paralelas, con superficie lisa (origen microbial o no) superficie crenulada (origen microbial). (Figuras 161, 162 y 163).

Bancos Carbonáticos de baja energía se desarrolla en la rampa interna dentro de la zona de trabajo de mareas, se caracteriza por carbonatos mayormente in situ, muy poco removidos o fragmentados, compuestos predominantemente por rocas generadas en moderada a baja energía, La Asociación de Facies es: Margas (Mf), Margas gris a gris oscuro, en parte fisibles, calcáreas con alto contenido de minerales de arcilla, Mudstones (Ms), de color gris parduzco con escasos fósiles recristalizados y moldes internos macrofósiles (braquiópodos); Wackestone (Ws), de color gris parduzco y grano fino, presenta contenido de fragmentos fósiles y secciones transversales de valvas dentro de cemento micrítico; Packstone (Ps), de color amarillo parduzco de grano medio compuesto por microfósiles como fragmentos de conchas, Fusulinas y briozoarios dentro de cemento micrítico.

Presenta microfracturas rellenas de calcita. Grainstone (Gs_t), gris clara amarillenta de textura grano soportado fino, con estratificación cruzada tipo tidal budle; Boundstone (Bs) Caliza formada por fragmentos mayormente bien preservados e in situ y alineados en capas; Boundstone (Bo) Caliza formada por fragmentos mayormente bien preservados e in situ. y alineados en capas. (Figuras 161, 162 y 163).

Bancos Carbonáticos de alta energía se desarrolla entre la rampa interna y la rampa externa con fuerte actividad y trabajo de olas de tormenta generándose acumulaciones de bancos de fragmentos mayormente removidos, fragmentados y trabajados. La Asociación de Facies es: Packstone (Ps), de color amarillo parduzco de grano medio compuesto por microfósiles como fragmentos de conchas, Fusulinas y briozoarios dentro de cemento micrítico. Presenta microfracturas rellenas de calcita, Packstone (P_t), gris clara con bioclastos matriz soportado, con estratificación cruzada tipo tidal budle; Grainstone (Gs), gris clara de textura grano soportado no mayor a 2mm con escasa matriz, buena porosidad visible de tipo móldica – vulgar; Floatstone (Fs), Caliza de color gris claro, con fósiles de tamaño regular a grande soportado por matriz micrítica; Rudstone (Rs) Caliza formada por fragmentos mayormente rotos de diferentes tamaños y especies de bioclastos. (Figuras 161, 162 y 163).

Bancos Carbonáticos de baja energía se desarrolla en la rampa externa por debajo de la zona de trabajo de olas de tormenta, se caracteriza por carbonatos muy poco removidos o fragmentados, es inicio de la generación de carbonatos por precipitación, en moderada a baja energía, La Asociación de Facies es: Mudstones (Ms), de color gris parduzco con escaso fósiles recristalizados y moldes internos macrofósiles (braquiópodos); Wackestone (Ws), de color gris parduzco y grano fino, presenta contenido de fragmentos fósiles y secciones transversales de valvas dentro de cemento micrítico; Packstone (Ps), de color amarillo parduzco de grano medio compuesto por microfósiles como fragmentos de conchas, Fusulinas y briozoarios dentro de cemento micrítico; Grainstone (Gs), gris clara de textura grano soportado no mayor a 2mm con escasa matriz, buena porosidad visible de tipo móldica –

vugular; Floatstone (Fs), Caliza de color gris claro, con fósiles de tamaño regular a grande soportado por matriz micritica. (Figuras 161, 162 y 163).

Marino, se desarrolla en la parte del talud continental y la parte más profunda de la cuenca, se caracteriza por la depositación de sedimentación fina generalmente por precipitación, en el caso de la Unidad Tarma – Copacabana el mar ha sido un mar interno similar al actual mar Mediterráneo, no muy profundo que podría a ver desarrollado ambientes anoxicos propicios para la generación de hidrocarburos en condiciones riqueza de materia orgánica, otro punto importante es que su condición de rocas de alto contenido arcilloso o lodos carbonáticos son impermeables lo que las ubica como rocas sello en el sistema petrolero. Las facies asociadas a este ambiente: Arcillitas (Lf), grises oscuras, fisibles; Margas (Mf), gris a gris oscuro, en parte fisibles, calcáreas con alto contenido de minerales de arcilla; Mudstones (Ms), de color gris parduzco con escasos fósiles recristalizados y moldes internos macrofósiles. (Figuras 161, 162 y 163).

5.2.2.4 Sistema Depositacional Encadenado de los Grupos Tarma y Copacabana. Objetivo 3

Es el conjunto tridimensional de ambientes sedimentarios genéticamente asociadas por procesos activos e inferidos, que actúan lateral, transversalmente y verticalmente. (Figura 163).

El sistema depositacional Tarma – Copacabana se desarrolla desde ambientes continentales evolucionó con ambientes parálcos, rampa carbonática y marino. (Figura 163).

El ambientes fluvial solo se describe en dirección Este y Sur Este se caracteriza por la presencia de barras de punta que caracterizan a ríos meandriformes y se desarrolla solo en la base de la Unidad Tarma – Copacabana, lito estratigráficamente se le ha denominado Green Sandstone (Areniscas verdes) en dirección hacia el Oeste las facies sedimentarias cambian a un ambiente mixto estuario, caracterizado por llanuras estuarinas y canales y barras con apilamiento retrogradante, lateralmente se presentan depósitos de playa (*shoreface*, *foreshore*) que tienen alineamientos paralelos a la línea de costa. Los espesores pueden variar desde 20 metros al Oeste

hasta más de 120 metros al Este mediciones realizadas en pozos perforados en la cuenca ante país de Madre de Dios (Los Amigos, Puerto Primo, Pariamanu).

Ya al inicio de la rampa con fuerte influencia de mareas se desarrolla de un ambiente marino restringido a lacustre que se caracteriza con el aumento progresivo de salinidad, el cual puede estar relacionado con efímeras incursiones marinas. Este cuerpo acuoso tendría en su porción más baja, una llanura somera donde se han desarrollado depósitos evaporíticos que alcanzan sus mayores espesores en la parte Oeste de la cuenca de Madre de Dios de hasta 100 metros, reconocidos en el control litológicos y perfiles eléctricos de pozos perforados en la cuenca ante país de Madre de Dios perfiles (Los Amigos, Puerto Primo, Pariamanu), contiguo y con una lámina de agua muy baja en la zona infra a supra-litoral se desarrolla las bioconstrucciones microbiales con predominio de facies de Laminitos laminados crenulados, laminitos laminado arbustiforme. En el contexto de la llanura somera microbial sumergida, pueden ocurrir límites laterales arborescentes, indicando condiciones de baja agitación de las aguas, en porciones más protegidas.

Siguiendo en dirección a la cuenca y lateralmente a la llanura somera microbial, con la espesura de agua más grande, ocurren bancos carbonáticos de baja energía, representados predominantemente por facies Wackestone Packstone y Packstone con estructuras de mareas (tidal bundle) oncolíticos y adyacentes a estos en un contexto de aguas un poco más agitadas, ocurren desarrollo de grainstone, boundstone.

En el límite de la rampa interna e inicio la rampa externa con energía moderada a alta en zona de trabajo de olas y tempestades genera la acumulación de fábricas transportadas de grainstone, packstone con fragmentos de rudstone y floatstone, Es importante resaltar que se interpretan las bioconstrucciones relacionadas con una porción subacuática, de energía moderada a alta, adyacente y relativamente más honda que la llanura somera y raramente expuesta. Forma bioconstrucciones relativamente continuas.

En un contexto de inicio de la rampa externa y en zona de talud con pendiente más pronunciada con espesor de agua más grande y profundo y

por debajo de la influencia de las tempestades se desarrollan las fábricas relacionadas al ambiente rampa externa de baja energía, constituido predominantemente facies de mudstone o lodos calcáreos, wackestone en menor proporción packstone, grainstone y floatstone.

Las facies más distales son las más finas arcillitas y mudstone, son desarrollo de sedimentación netamente marina de baja energía, ya en el mar abierto, por debajo de la acción del oleaje y lejos de las corrientes de fondo.

La evolución de este modelo en el tiempo con la sobreposición de ambientes en dirección a continente o hacia la cuenca se determina las secuencias de transgresión - regresión, lo que permite predecir la aparición de ambientes, facies y litología determinada aplicando la ley de Walther, por la cual todo cambio litológico vertical en una sección resulta de una migración lateral de diferentes medios. En el caso de series cíclicas se interpretarán como secuencias transgresivas-regresivas, siendo la etapa regresiva similar a la transgresiva, pero migrando las facies en sentido contrario a la transgresiva.

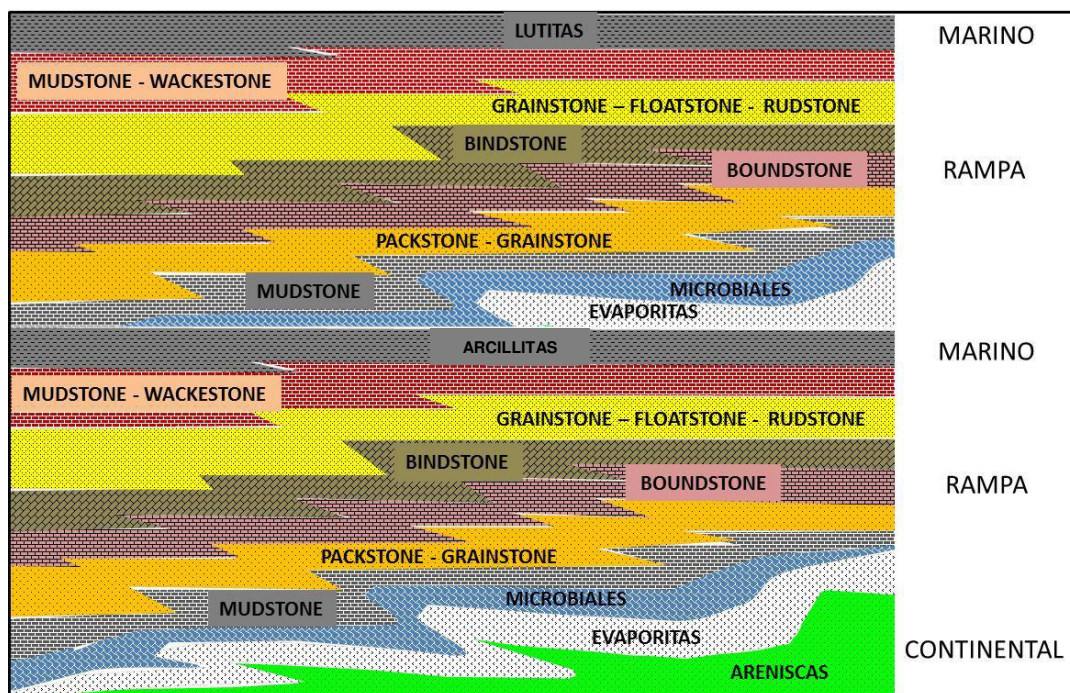


Figura 162, Muestra las facies sedimentarias y los Ambientes Sedimentarios de la Unidad Tarma – Copacabana.

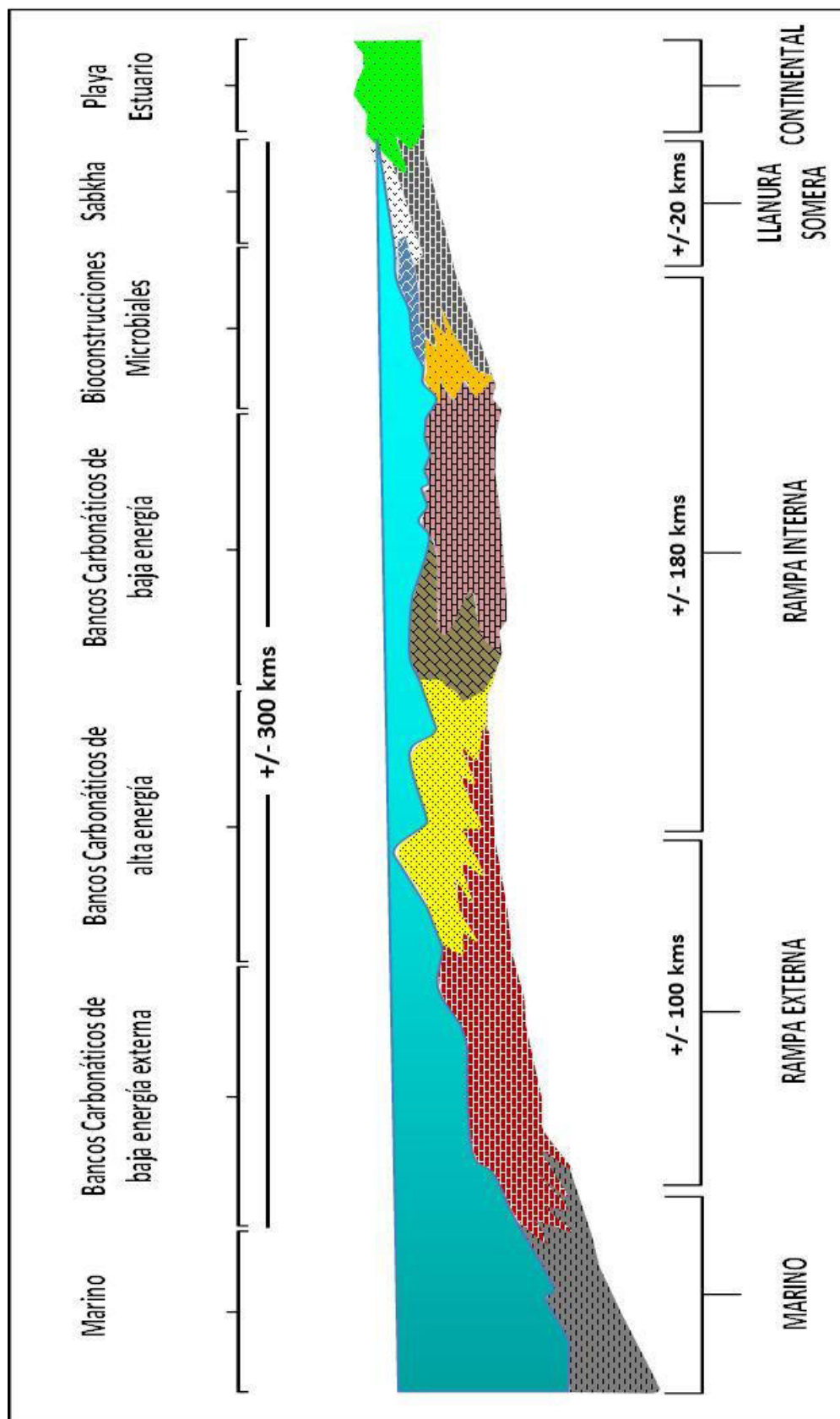


Figura 163, Gráfico muestra los Elementos Arquitecturales y Ambientes Depositacionales Encadenados La Unidad Tarma – Copacabana.

5.2.2.5 Secuencia Estratigráficas

Los estudios realizados en la Unidad Tarma – Copacabana han definido cuatro Secuencias Depositacionales las cuales se han limitado cada una por las discordancias subaéreas y sus concordancias correlativas marinas (DS).

Secuencia Transgresión – Regresión: Unidad estratigráfica limitada por una superficie compuesta que incluye una discordancia subaérea (DS) y una porción marina de la superficie de inundación máxima (MFS o SIM). (Figura 164).

5.2.2.5.1 Secuencia Estratigráfica 1, de Tercer Orden

Esta Secuencia está limitada por dos discordancias, observadas y definidas por fósiles definiendo el hiato de no deposición de 8 millones de años entre el Grupo Ambo del Mississipiano (Visiano) y el inicio de la Secuencia en el tope la discordancia semisubaerea producto de la caída del nivel de base y la somerización de la plataforma y el inicio de la Secuencia 2.

El inicio de la Secuencia 1 es con la caída del nivel de base y la generación de valles fluviales rellenados durante el estadio de mar bajo (LST), (Figura 163), así como playas lateralmente.

El registro son las rocas silicoclásticas areniscas y conglomerados de color verdoso con contenido de líticos 40% siendo común los de origen volcánico como andesitas, basaltos, volcanoclásticos dominante tales como (Lvc): tobas desvitrificadas, fragmentos y fragmentos de piedra pómez deformados, y sedimentarios como limolitas, granos escasos alterados indeterminados. Feldespatos 20% (F), dominio de la plagioclasa y subordinado el feldespato potásico (ortosa), escasa a moderadamente alterada en arcillas, cuarzo 40% (Q), granos mono cristalinos, con predominio de la extinción directa. Como accesorios zircón, turmalina, hematita, magnetita y óxidos de fierro, (LCV-Pluspetrol. 2008), (Figuras 165, 166).

El alto porcentaje de líticos y feldespatos la hace una roca mecánica y químicamente inestable, que se refleja en los fenómenos diagenéticos que la han afectado como compactación, crecimiento y revestimiento de arcillas autigenas como clorita e illita, disolución, microcuarzo, la matriz es tufácea, la porosidad es baja y predomina la secundaria, el tamaño poral es microporo, todas estas características actuales corresponden a muestras de

Pongo de Mainique y Manu Chico, no representan las condiciones en toda la cuenca, se resalta que por su composición litológica y mineralógica las rocas son de fuentes cercanas o producto del retrabajo de rocas preexistentes.

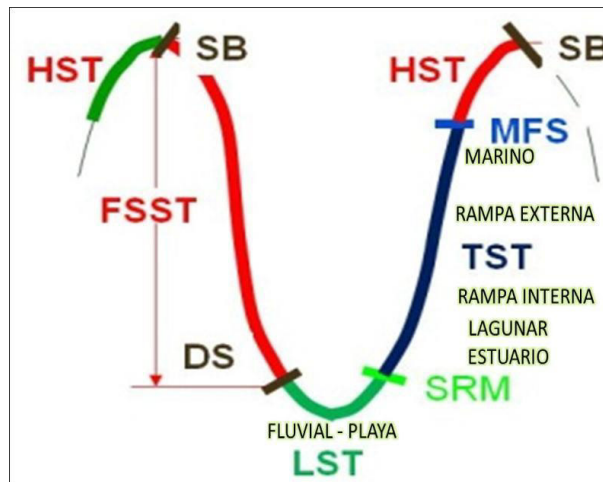


Figura 164, Muestra curva eustática con la ubicación de las superficies llaves SB: límite de secuencia, DS discordancia subaérea, SRM superficie de regresión máxima, MFS, superficie de máxima inundación, Los Sistemas Encadenados: FSST, de caída del nivel base, LST, de mar bajo, TST, transgresivo, HST, de mar alto y la ubicación de los ambientes depositacionales en la Secuencia 1 de Tarma Copacabana.

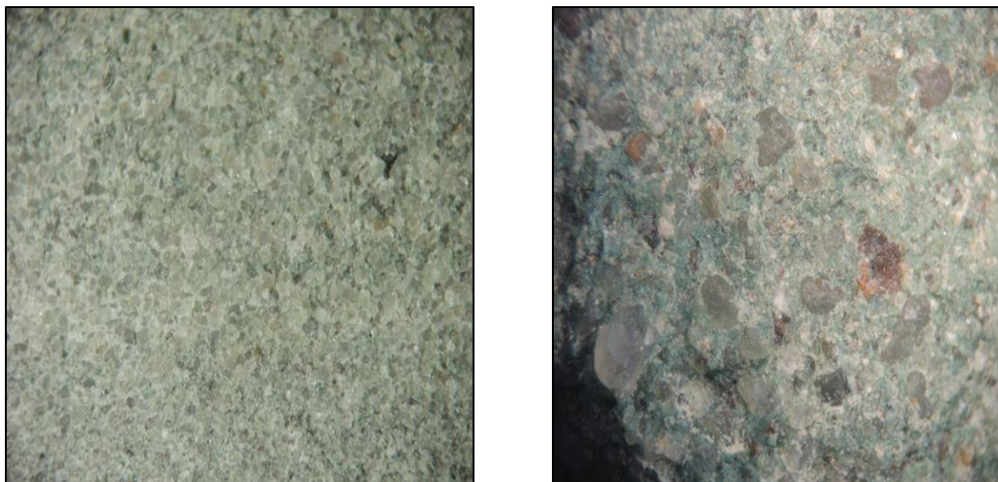


Figura 165, Fotografía derecha, Zoom 20X, se describe Arenisca de color gris verdoso, de grano medio a grueso, subredondeado a subangular con buen sorteo y matriz limosa, tiene contenido de, cloritas y micropirita, con estratificación cruzada. Fotografía izquierda, Zoom 20X, se describe arenisca de color gris verdoso, de grano grueso a muy grueso, subredondeado y pobremente seleccionado, con matriz arcillosa, y contenidos de micas y cloritas. Presenta débil laminación. Típicas del ambiente sedimentario fluvial

del Sistema encadenado de mar bajo. Ambas, del área de Manu Chico, (LCV-Pluspetrol. 2008).

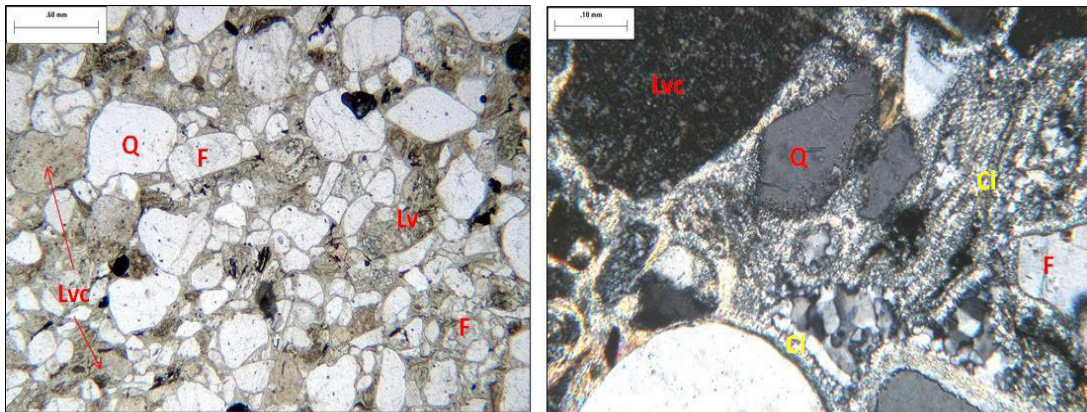


Figura 166, Fotografía izquierda (lamina delgada), muestra la textura y composición de las areniscas verdes con predominio de clastos volcánico de andesita que le dan el color. Fotografía derecha, muestra toma de alta resolución de la textura y composición y el relleno del sistema poral por arcillas autigenas cloritas. Se desarrollan en el Sistema Encadenado de Mar bajo (LST) de la Secuencia 1. (LCV-Pluspetrol. 2008).

El fin del Sistema Encadenado de Mar Bajo (LST) se marca con la superficie de regresión máxima (SRM) que se marca con las primeras evidencias de entrada de mar y se identifica con el cambio de patrón de apilamiento que se reconoce con el inicio del ambiente deposicional estuarino variando lateralmente a la presencia de ambiente lagunar a marino somero restringido (Sabkha) quedando como registro litológico rocas evaporitas y así se inicia el Sistema Encadenado Transgresivo. (Figuras 167, 168).



Figura 167, Fotografía izquierda, con zoom 10X arenisca de color gris verdoso, de grano muy fino con contenido de cloritas y biotitas, se observa

un molde externo de braquiópodo posiblemente del orden de los spiriféridos. Fotografía derecha con zoom 20X arenisca, de color gris verdoso, de grano fino, subredondeado con buen sorteo y cemento calcáreo, tiene contenido de glauconita, cloritas y micropirita. Presenta bioturbaciones, del área de Manu Chico. (Valdivia, 2013).

En la Figura 167 ambas fotografías muestran areniscas con presencia de actividad biogénica marina lo que se interpreta que están dentro del ambiente deposicional estuario que marca la superficie de regresión máxima y el inicio del Sistema Encadenado Transgresivo.

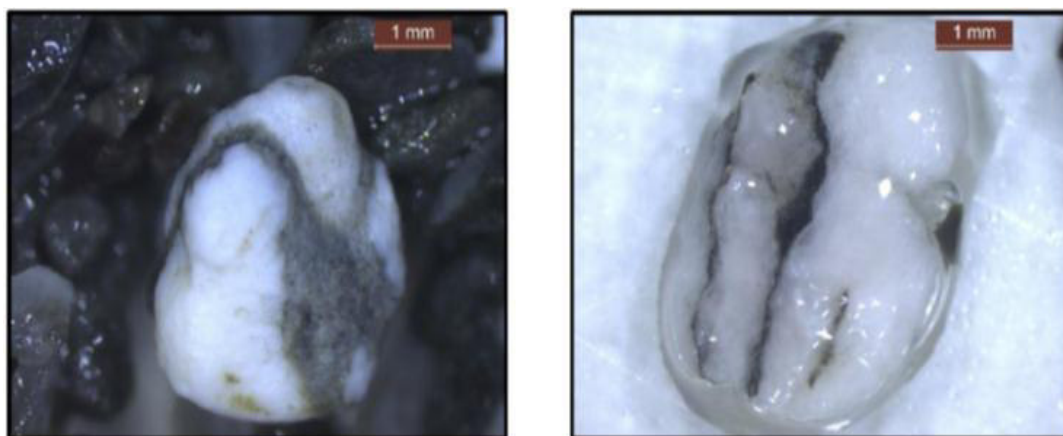


Figura 168, Fotografías izquierda y derecha (fotos del stereomicroscopio de muestras de canaleta de pozos del área de Camisea) corresponden a anhidrita cristalina blanca, como depósitos Sabkha y frecuentemente asociada como nódulos de dolomías. (Ferraresi, 2013).

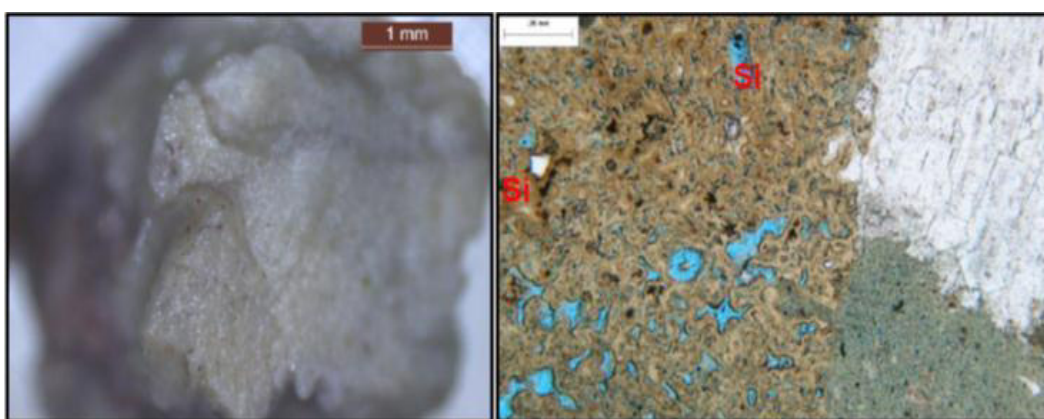


Figura 169, Fotografías izquierda y derecha (fotos del stereomicroscopio sección delgada de muestras de canaleta de pozo de área de Camisea) Chert de composición silíceo, dureza y color variable, blanquecinas, rojizas o verdosas. A veces, la presencia de espículas se infiere que podrían ser

espículas de radiolarios? Se asocia al levantamiento de la plataforma y altamente fracturados. (Ferraresi, 2013).

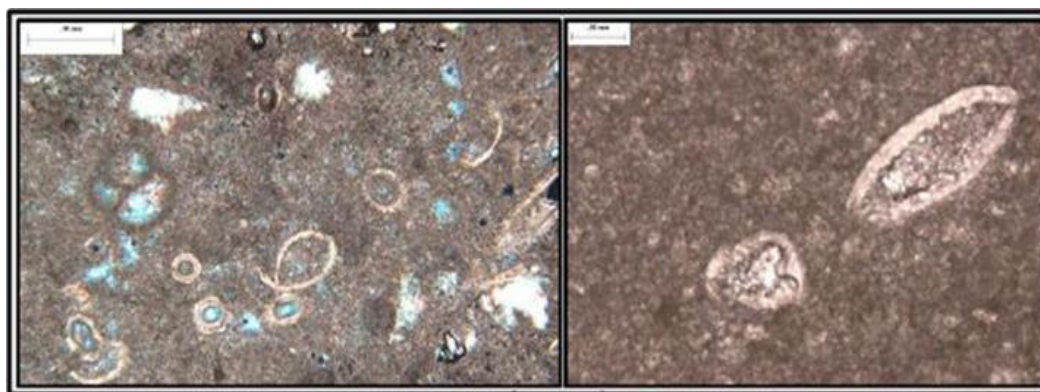
En dirección a la cuenca se inicia la rampa carbonática Interna que en su parte más proximal es muy somera con una película de agua y con extremas condiciones de salinidad, temperatura y bajo contenido de oxígeno es el ambiente propicio para el desarrollo masivo de microbios con la ausencia total de otras formas de vida, el registro son rocas carbonáticas denominadas construcciones microbiales en épocas de aridez y en épocas de aumento de agua procedente de continente la precipitación de arcillas calcáreas (Margas), marcan el fin de los ciclos de presencia microbial que podrían estar relacionados a los denominados ciclos de Milankovitch.



Figura 170, Fotografía muestra bioconstrucción microbial (Laminite crenulada) en el Pongo de Mainique. (Pozo, 2017).

Con el aumento del espesor de la columna de agua y el mejoramiento de las condiciones ambientales y el inicio de la rampa carbonática interna (litoral) se da gran incremento en el desarrollo de vida y variedad de especies donde es más evidente y continua la influencia de corrientes mareales con lo cual se generan faunas mixta tipo subtropicales (C) a Tropicales (T) que van desde ostrácodos en las partes más someras con aguas salobres, presencia de colonias de briozoos de formas planares que

se presentan como pequeñas colonias o acumulaciones aisladas dentro de la rampa interna litoral, generalmente asociados a foraminíferos principalmente fuslinas, es importante remarcar que por su cercanía al continente se interpreta que existían periodos de abundancia de colonias y épocas donde desaparecían por un ambiente con mayor turbidez de las aguas y presencia de material arcilloso. (Figuras 169, 170, 171, 172, 173)



Figuras 171, Fotografías izquierda y derecha (fotos del stereomicroscopio sección delgada de muestras de canaleta de pozo de área de Camisea) de ostrácodos. (Ferraresi, 2013).



Figura 172, Fotografía izquierda (fotos del stereomicroscopio sección delgada de muestras de canaleta de pozo de área de Camisea) de espinas y placas de echinodermos (E). Fotografía derecha) B: briozoarios. (Ferraresi, 2013).

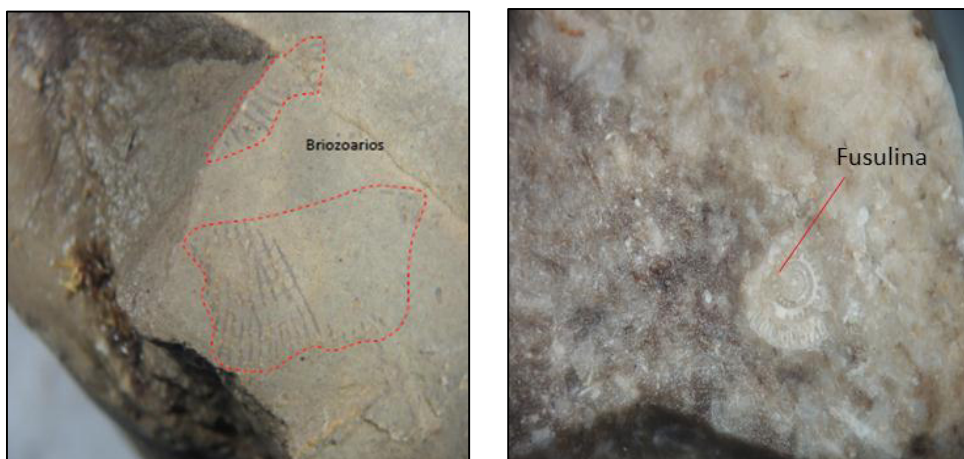


Figura 173, Fotografía izquierda,, zoom 10X, fósiles briozoarios. Fotografía derecha, área de Manu Chico, zoom 30X, foraminífero fusulina. Área de Manu Chico. (Valdivia, 2013).

En límite exterior de la rampa interna es donde se da el fuerte embate de las olas con un grado alto de trabajo y retrabajo de fragmentos bioclásticos generando bioconstrucciones o acumulaciones bioclásticas alineadas a la línea de costa que pueden ser potenciales rocas reservorio entre las litologías más importantes y comunes están packstone, grainstone, rudstone, floatstone. Las características principales de las bioconstrucciones de alta energía son su composición variada de bioelementos generalmente originarios de la rampa interna en la zona de baja energía los cuales son fragmentados llegando en casos a ser redondeados, a continuación se muestran fotografías de diferentes bioconstrucciones, (Figura 174),



Figura 174, Fotografía izquierda, zoom 30X, Bioconstrucción, Packstone de fragmentos de bivalvos, braquiópodos y espículas recristalizados.

Fotografía derecha, zoom 30X, Grainstone, de color gris parduzco y grano medio a grueso, está compuesta fragmentos de conchas, restos de crinoideos y microfósiles (Fusulinas?), esta muestra también presenta débil laminación. Área de Manu Chico. (Valdivia, 2013).

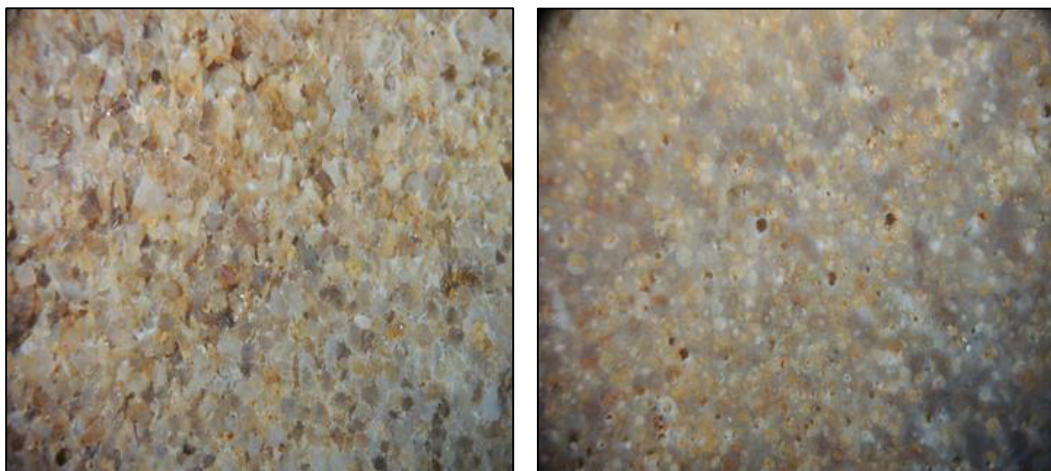


Figura 175, Fotografía izquierda, zoom 20X, Grainstone blanco amarillento formado por fragmentos calcáreos subangulosos – subredondeados en parte dolomitizado no se identifican componentes bioclásticos. Fotografía derecha, zoom 20X, Grainstone, blanco amarillento formado por fragmentos calcáreos, área de Manu Chico. (Valdivia, 2013).

La rampa externa se inicia en la parte media de la zona de trabajo de olas y la zona de tempestitas donde se desarrollan las bioconstrucciones de alta energía y en dirección a la cuenca en el talud donde los espesores de agua se incrementan con el aumento de la pendiente y se generan bioconstrucciones de baja energía con el predominio de litologías mudstones, wackestone, grainstone, floatstone. Las características principales de las bioconstrucciones de baja energía son de composición más homogénea con bioelementos in situ y otros fracturados y trabajados. (Figura 175).

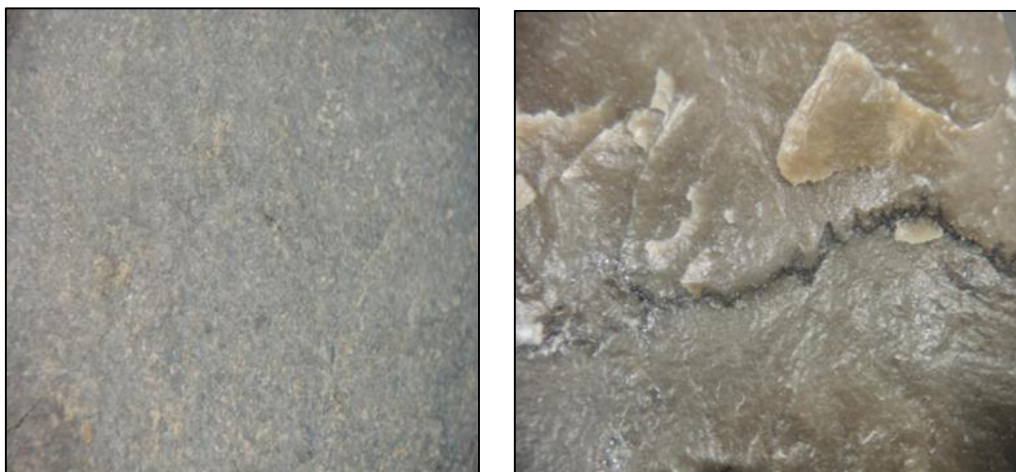


Figura 176, Fotografía izquierda, zoom 20X. Wackestone gris oscuro matriz esparítica laminada micropiritica, presencia de peloides y bioclastos. Fotografía derecha, zoom 10X. Mudstone, gris olivo matriz micrítica, con presencia de materia orgánica, área de Alto Camisea, (Valdivia, 2013).

El Sistema Encadenado Transgresivo (TST) de la Secuencia 1, termina en la superficie de máxima inundación (SIM) que es marcado por las lutitas depositadas en el ambiente marino principalmente por precipitación, (Figura 176). Después de esta superficie se inicia el Sistema encadenado de mar alto (HST) que en la secuencia 1 es de muy poco espesor debido a la erosión por la Exposición de la rampa carbonática generándose la discordancia subaerea (DS). (Figura 176).

5.2.2.5.2 Integración Roca – Perfil, Secuencia Estratigráfica 1

La integración roca – perfil es la técnica de llevar la información procesada de roca como las facies sedimentarias, las asociaciones de facies o elementos arquitecturales de afloramientos de rocas, núcleos, muestras de canaleta de pozos a los perfiles eléctricos de los pozos con la finalidad de integrar la información y proyectarla a subsuelo.

Los perfiles de pozo son toda la información adquirida durante la perforación como perfil litológico, perfiles eléctricos: adquiridos mientras se perfora (LWD), y los perfiles adquiridos después de las perforaciones denominados a hueco abierto y los adquiridos después de la cementación que se denominan a hueco entubado.

Los principales perfiles y sus aplicaciones son:

Rayos Gamma (GR), La herramienta del registro de rayos gamma mide la radioactividad natural de las rocas la cual se asocia a las litologías así a mayor radioactividad mayor contenido de arcillas y disminución de granulometría, a menor radioactividad menor contenido de arcillas, mayor tamaño de grano y se relaciona a litologías de limolitas, areniscas y conglomerados, carbonatos y evaporitas .

Resistividad (RT y RM), La herramienta del registro de resistividad mide la radioactividad de las rocas directamente o indirectamente mediante la herramienta de inducción; Se pueden adquirir curvas de resistividad a diferentes profundidades de investigación para analizar y determinar la resistividad verdadera del reservorio (RT) y resistividad de la parte media (RM), es importante resaltar que sus aplicaciones son estimar la saturación de agua, litologías, características poro-permeables etc.

Densidad (RHOB), La herramienta del registro de densidad mide la densidad de las rocas que sirve para estimar la porosidad conocida la densidad de la matriz de la roca y la densidad del fluido de perforación, así mismo son valores conocidos la densidad de la matriz de las rocas puras como: Areniscas cuarzosas 2.65 gr/cc, carbonatos 2.71 gr/cc, dolomías 2.83 gr/cc, anhidritas 2.98 gr/cc, yeso 2.33 gr/cc, Sal 2.08 gr/cc, arcillas 2.3 a 2.7 gr/cc, información que se asocia para definir litologías y patrones de apilamiento.

Neutrón (NPHI), La herramienta del registro de neutrón mide la cantidad de hidrogeno en la rocas y relaciona a la porosidad de las rocas, así mismo son conocidos el valor de la porosidad neutrónica de la matriz de las rocas puras como: Areniscas -4%, carbonatos 0%, dolomías (6 – 8%), anhidritas (1 – 2%), yeso 48%, sal 0%, arcillas altas lecturas, información que se asocia para definir litologías y patrones de apilamiento.

Sónico (DT), La herramienta del registro sónico o propagación de la onda de sonido registra el tiempo de tránsito (DT) que es el tiempo que toma la onda

compresional para recorrer una determinada distancia entre el transmisor y receptor. Se estima la porosidad sónica de la roca, conocida el tiempo de transito de la matriz de la roca y el tiempo de transito del fluido de perforación, así mismo son valores conocidos el tiempo de transito de la matriz de las rocas puras como: Areniscas 52.5 – 55.5 ms/pie, carbonatos 47.5 ms/pie, dolomías 42.5 ms/pie, anhidritas 50 ms/pie, yeso 52 ms/pie, sal 67 ms/pie, arcillas 130 a 170 ms/pie, información que se asocia para definir litologías y patrones de apilamiento.

El análisis y la interpretación en conjunto de los registros de pozo integrados a la litología de pozos con facies sedimentarias, asociación de facies, elementos, subambientes determinados en afloramientos determinándose las superficies llaves, sistemas encadenados y la secuencia. (Figura 177).

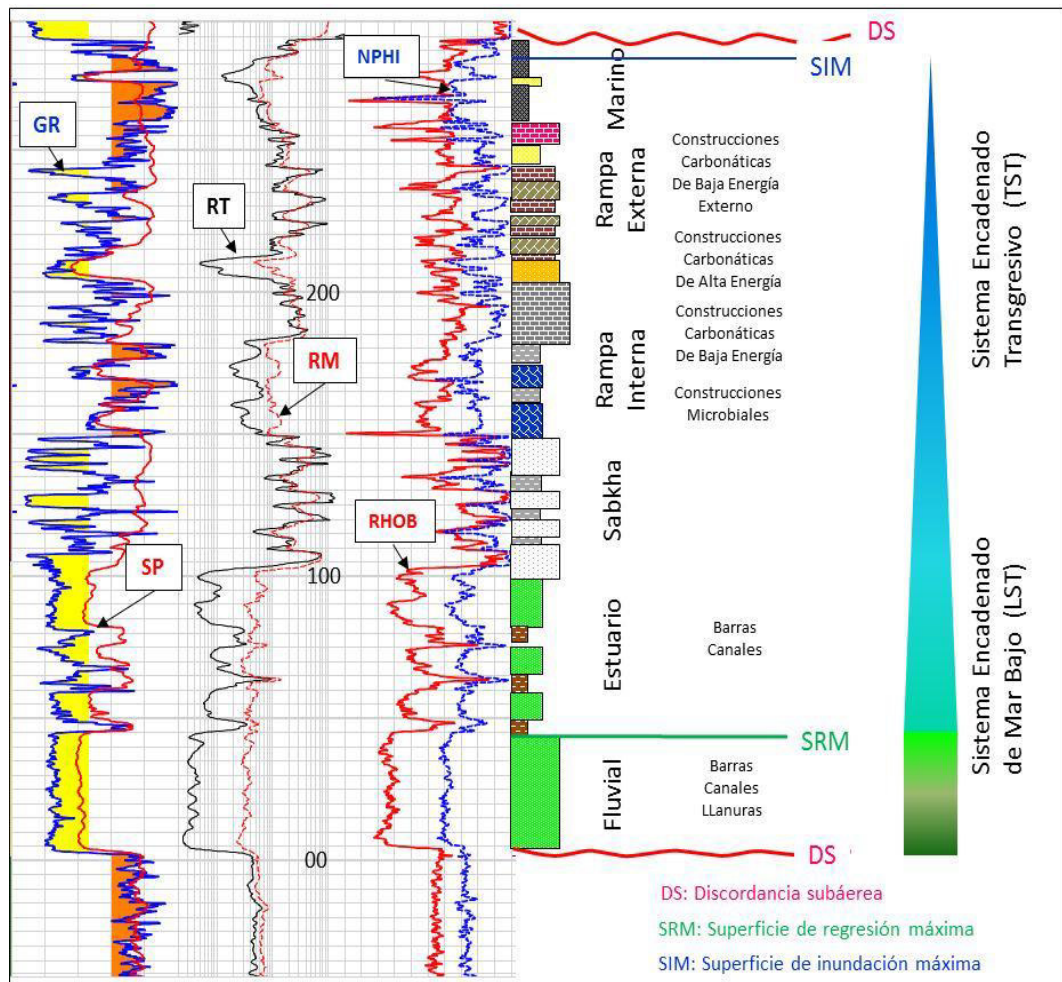


Figura 177, Gráfico muestra perfil (m) de registros integrados roca – perfil de pozo Los Amigos en la cuenca de Madre de Dios, se marcan los elementos arquitecturales, subambientes y ambientes sedimentarios, se marcan las

superficies llaves (DS) que definen los límites de la Secuencia 1 e internamente las superficies llaves (SRM y SIM) que determinan los límites de los Sistemas Encadenados de Mar Bajo (LST) y Sistema Encadenado Transgresivo. (TST)

5.2.2.5.3 Secuencia Estratigráfica 2, de Tercer Orden

La Secuencia 2 es de menor desarrollo y sus límites son en la base y tope discordancias semi subaérea (DS), definidas en la base por el cambio de ambiente deposicional marino (Secuencia 1) a subambiente deposicional lagunar a marino restringido (Base de la Secuencia 2) indicativo de la caída del nivel de base y la somerización del ambiente, en el tope el límite lo da el cambio de subambientes deposicionales de rampa interna (Secuencia 2) a su ambiente lagunar a marino restringido de la Secuencia 3,

La Secuencia se inicia con el Sistema Encadenado Transgresivo (TST) no se han reconocido facies estuarinas, pero en los pozos de las cuencas de Madre de Dios y Ucayali se han identificado facies lagunares o sabkha principalmente anhidritas en el registro litológico.

De forma muy similar a la Secuencia 1 en la Secuencia 2 y en dirección a la cuenca se inicia la rampa carbonática Interna que en su parte más proximal es muy somera con extremas condiciones ambientales donde solo pueden desarrollarse microbios con la escases de otras formas de vida, el registro son rocas carbonáticas denominadas construcciones microbiales en épocas de aridez y en épocas de aumento de agua procedente de continente la precipitación de arcillas calcáreas (Margas), marcan el fin de los ciclos de presencia microbial que podrían estar relacionados a los denominados ciclos de Milankovitch.

El Sistema Encadenado Transgresivo (TST) de la Secuencia 2, termina en la con las lutitas y margas depositadas en la rampa carbonática interna interrumpida por el levantamiento y el trabajo de la discordancia semi subaerea (DS).

5.2.2.5.4 Integración Roca – Perfil, Secuencia Estratigráfica 2.

El análisis y la interpretación en conjunto de los registros de pozo que integrados a la con la información de las facies sedimentarias, asociación de facies, elementos arquitecturales o subambientes deposicionales

determinados en afloramientos, ha definido las superficies llaves, sistemas encadenados y la secuencia estratigráfica 2. (Figura 178).

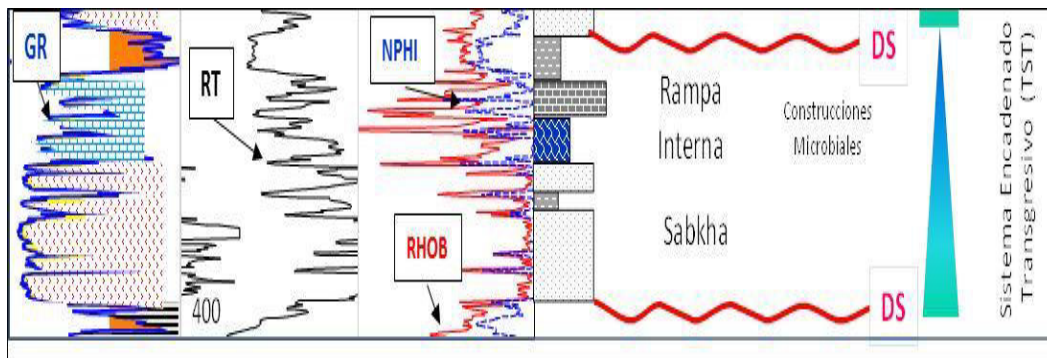


Figura 178, Gráfico muestra perfil (m) de registros integrados roca – perfil, de pozo Los Amigos en la cuenca de Madre de Dios, se marcan los elementos arquitecturales, subambientes y las superficies llaves (DS) que definen los límites de la Secuencia 2, desarrollada dentro del Sistema Encadenado Transgresivo.(TST)

5.2.2.5.5 Secuencia Estratigráfica 3, de Tercer Orden

La Secuencia 3 está constituida por los Sistemas Encadenados: Transgresivo (TST) y de Mar Alto (HST), los límites de la secuencia esta dados por dos discordancias subaéreas en la base y tope identificadas por cambios de ambientes deposicionales marcando las superficies llave de discordancia subaerea (DS) internamente el fin del sistema encadenado transgresivo (TST) y el inicio del sistema encadenado de mar alto (HST) lo marca la superficie de inundación máxima (SIM).

El sistema transgresivo está constituido por los siguientes ambientes lagunar – mar restringido – sabkha, la rampa carbonática interna, la rampa carbonática externa y el ambiente marino abierto, marcándose en el punto de mayor arcillosidad – radioactividad la superficie de inundación máxima (SIM) en este sistema domina el patrón de apilamiento retrogradante.

La Secuencia se inicia con el sistema encadenado transgresivo (TST) no se han reconocido facies estuarinas, pero en los pozos de las cuencas de Madre de Dios y Ucayali se han identificado facies lagunares o sabkha principalmente anhidritas como registro litológico en pozos.

De forma muy similar a las Secuencias 1 y 2 en la Secuencia 3 y en dirección a la cuenca se inicia la rampa carbonática Interna que en su parte

más proximal es muy somera con extremas condiciones ambientales donde solo pueden desarrollarse microbios con la escases de otras formas de vida, el registro son rocas carbonáticas denominadas construcciones microbiales en épocas de aridez y en épocas de aumento de agua procedente de continente la precipitación de arcillas calcáreas (Margas), marcan el fin de los ciclos de presencia microbial que podrían estar relacionados a los denominados ciclos de Milankovitch. ([Raja Gabaglia, 2011](#))

Con el incremento de la columna de agua y el mejoramiento de las condiciones ambientales la rampa carbonática interna desarrolla variedad de especies donde es más evidente y continuas la influencia de corrientes mareales con lo cual se generan faunas mixta tipo subtropicales (C) a tropicales (T) que van desde ostrácodos, colonias de briozoos de formas planares, asociados a foraminíferos principalmente fuslinas, crinoideos, braquiópodos y pelecípodos, es importante remarcar que esta zona está fuertemente influenciada aún por su cercanía al continente con periodos húmedos que aumentan el aporte de continente de arcillas, materia orgánica y en estadios secos es donde aumentan la vida y el tamaño de los bioelementos en la rampa con un predominio de las litologías carbonatadas generalmente con componentes in situ.

En límite exterior de la rampa interna es donde se da el fuerte embate de las olas con un grado alto de trabajo y retrabajo de los fragmentos bioclásticos generando bioconstrucciones o acumulaciones bioclásticas. Las características principales de las bioconstrucciones de alta energía son su composición variada de bioelementos generalmente originarios de la rampa interna en la zona de baja energía los cuales son fragmentados llegando en casos a ser redondeados.

El inicio de la rampa externa se da por debajo de la zona de trabajo de las olas donde se desarrollan las bioconstrucciones de alta energía y en dirección a la cuenca en el talud donde los espesores de agua se incrementan con el aumento de la pendiente y se generan bioconstrucciones de baja energía con el predominios de litologías mudstones, wackestone, grainstone, floatstone. Las características principales de estas son de composición más homogénea con bioelementos in situ y otros fracturados y trabajados.

El sistema encadenado transgresivo (TST) de la secuencia 3, termina en la superficie de máxima inundación (SIM) que es marcado por las arcillitas depositadas en el ambiente marino, después de esta superficie se inicia el sistema encadenado de mar alto (HST) que en la secuencia 3 tiene buen desarrollo debido a que la erosión por la exposición de la rampa carbonática de la discordancia subaérea (DS) no afectó fuertemente quedando registro de los depósitos progradantes y someros de la rampa carbonática media proximal del sistema encadenado de mar alto.

5.2.2.5.6 Integración Roca – Perfil, Secuencia Estratigráfica 3

El análisis y la interpretación en conjunto de los registros de pozo integrados a la litología de pozos con facies sedimentarias, asociación de facies, elementos, subambientes determinados en afloramientos, definieron las superficies llaves, sistemas encadenados y los límites de la secuencia que se muestran en la [Figura 179](#).

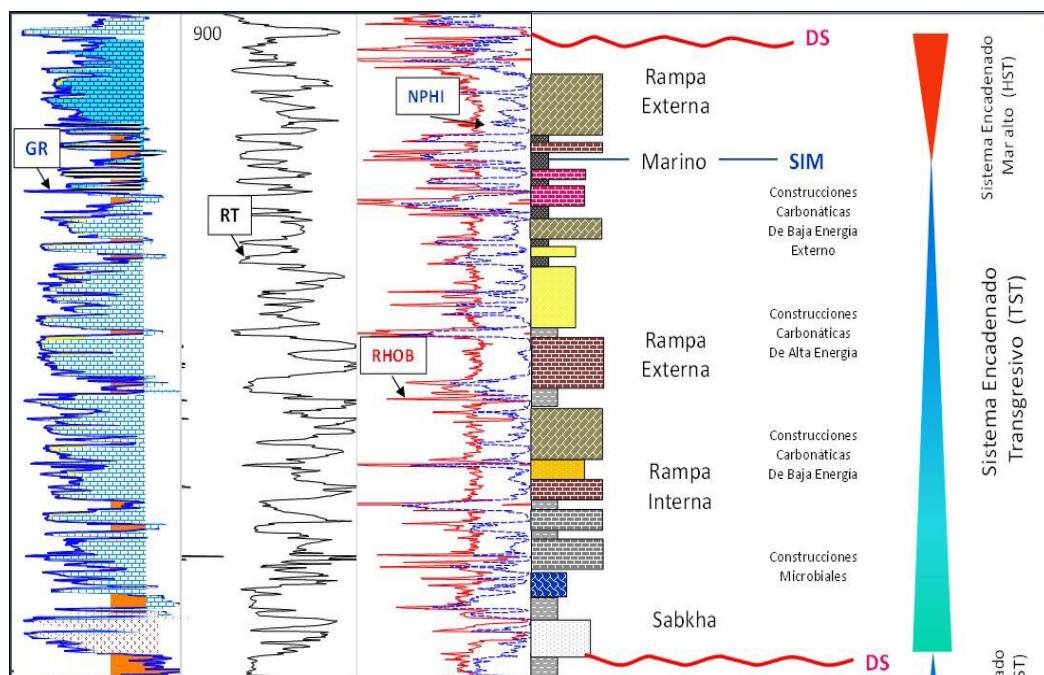


Figura 179. Gráfico muestra perfil (m) de registros integrado de roca – perfil de pozo Los Amigos en la cuenca de Madre de Dios, se marcan los elementos arquitecturales, subambientes y ambientes sedimentarios, se definen las superficies llaves (DS) en la base y tope que son los límites de la Secuencia 3, la superficie de máxima inundación (SIM) fin del Sistema Transgresivo e inicio del Sistema de Mar Alto (HST) que termina en la superficie o discordancia subaerea (DS) del tope de la Secuencia 3.

5.2.2.5.7 Secuencia Estratigráfica 4, de Tercer Orden

La Secuencia 4 está constituida por los Sistemas Encadenados: Transgresivo (TST) y de Mar Alto (HST), los límites de la secuencia están dados por dos discordancias subaéreas en la base y tope identificadas por cambios de ambientes deposicionales marcando la superficie llave de discordancia subaérea (DS) internamente el fin del sistema encadenado transgresivo (TST) y el inicio del sistema encadenado de mar alto (HST) lo marca la superficie de inundación máxima (SIM).

El sistema transgresivo domina el patrón de apilamiento retrogradante y está constituido por los siguientes ambientes lagunar – mar restringido – sabkha, la rampa carbonática interna, la rampa carbonática externa y el ambiente marino abierto, marcándose en el punto de mayor arcillosidad – radioactividad y cambio de patrón de apilamiento de retrogradante a progradante la superficie de inundación máxima (SIM).

En el sistema encadenado transgresivo (TST) en la base se han identificado facies lagunares o sabkha principalmente anhidritas.

De forma muy similar a la Secuencias 1, 2 y 3 y en dirección a la cuenca se inicia la rampa carbonática interna que en su parte más proximal es muy somera con extremas condiciones ambientales donde se desarrollan microbios y la casi ausencia de otras formas de vida, el registro son rocas carbonáticas que generan construcciones microbiales en épocas de aridez y en épocas de aumento de agua procedente de continente la precipitación de arcillas calcáreas (Margas), marcan el fin de los ciclos de presencia microbial.

Con el incremento de la columna de agua y la mejora de las condiciones ambientales la rampa carbonática interna desarrolla variedad de especies donde es más evidente y continuas la influencia de corrientes mareales con lo cual se generan faunas mixta tipo subtropicales (C) a tropicales (T) que van desde ostrácodos, colonias de briozoos de formas planares, asociados a foraminíferos principalmente fusulinas, crinoideos, braquiópodos y pelecípodos, es importante remarcar que esta zona está fuertemente influenciada aún por su cercanía al continente de periodos húmedos con aumento de aporte de continente de arcillas, materia orgánica y en estadios secos es donde aumentan la vida y el tamaño de los bioelementos con un

predominio de las litologías carbonatadas generalmente con componentes in situ.

En límite exterior de la rampa interna es la batiente de las olas con alto grado de trabajo y retrabajo de organismos y fragmentos bioclásticos generando bioconstrucciones o acumulaciones bioclásticas. Las características principales de las bioconstrucciones de alta energía son su composición variada de bioelementos generalmente originarios de la rampa interna en la zona de baja energía los cuales son fragmentados llegando en a ser redondeados.

El inicio de la rampa externa se da por debajo de la zona de trabajo de las olas donde se desarrollan las bioconstrucciones de alta energía y en dirección a la cuenca en el talud donde los espesores de agua se incrementan con el aumento de la pendiente y se generan bioconstrucciones de baja energía con el predominios de litologías mudstones, wackestone, grainstone, floatstone.

Las características principales de las bioconstrucciones de baja energía son de composición más homogénea con bioelementos in situ y otros fracturados y trabajados.

El sistema encadenado transgresivo (TST) de la Secuencia 4, termina en la superficie de máxima inundación (SIM) que es marcado por las lutitas depositadas en el ambiente marino, por encima de esta superficie se inicia el sistema encadenado de mar alto (HST) que en la secuencia 4 tiene muy buen desarrollo debido a la fuerte actividad biogénica y terrígena de la plataforma que fue mayormente preservada y poco afectada por erosión de la discordancia pre deposición de la Unidad Ene, esta discordancia subaérea (DS) se le puede apreciar en el campo y principalmente está dada por el cambio ambiental.

5.2.2.5.8 Integración Roca – Perfil, Secuencia Estratigráfica 4

El análisis y la interpretación de los registros de pozo integrados a la litología de pozos y con facies sedimentarias, asociación de facies, elementos, subambientes definidos en afloramientos, se determinaron las superficies llaves, los sistemas encadenados de la secuencia se muestran en la [Figura 180](#).

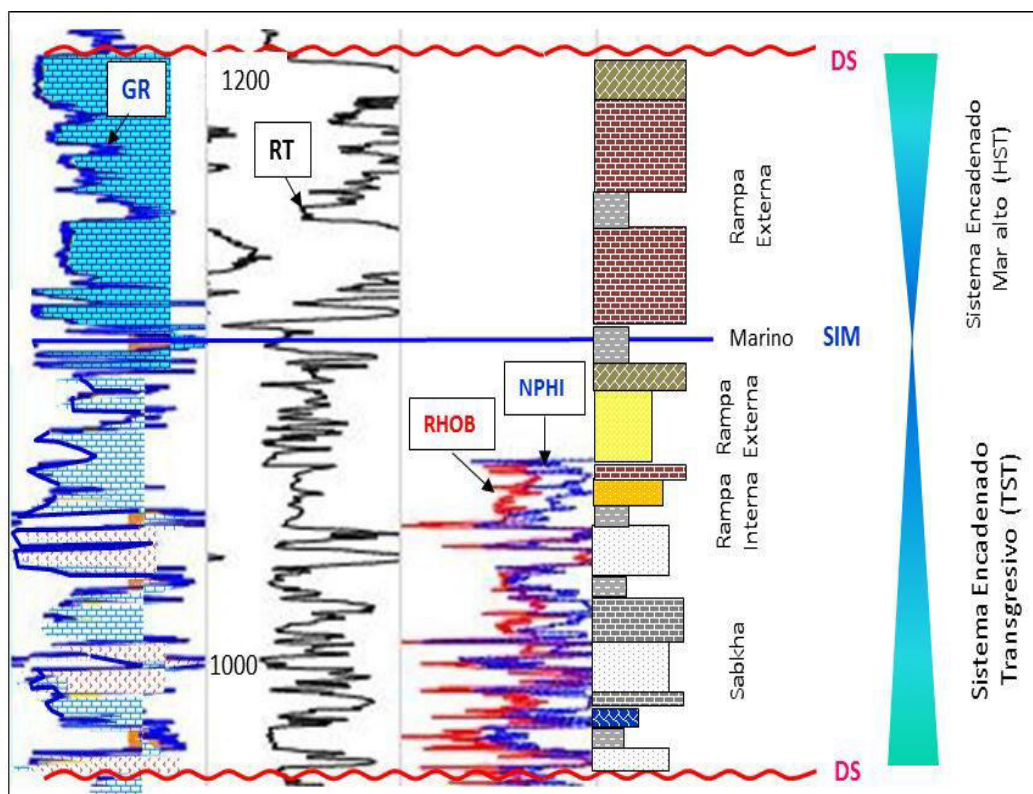


Figura 180, Gráfico muestra perfil (m) de registros integrado de pozo los Amigos en la cuenca de Madre de Dios se marcan los elementos arquitecturales, subambientes y ambientes sedimentarios, las superficies llaves (DS) en la base marca el inicio del Sistema Encadenado Transgresivo, con el cambio de patrón de apilamiento y la somerización del ambiente de plataforma, se marca la superficie de máxima inundación (SIM) e inicio del Sistema Encadenado de Mar Alto (HST) que termina en la Superficie o discordancia subaerea (DS) del tope de la Secuencia 4.

5.2.3 Correlación Regional de Estratigráfica de Secuencia

Definidas las cuatro secuencias estratigráficas de tercer orden con base en la integración roca – perfil de los en los pozos de las cuencas de Madre de Dios y Sur de Ucayali se han elaborado cuatro secciones de correlación para definir continuidad de secuencias y variación de los sistemas encadenados. La denominación de las secciones se inicia con la letra A al Sur Este y se continua con las secciones B, C, D y E en dirección Norte del área de estudio. (Figura 181). Logrando una visión regional de la correlación de las secuencias, las variaciones de los sistemas encadenados y sus ambientes deposicionales.

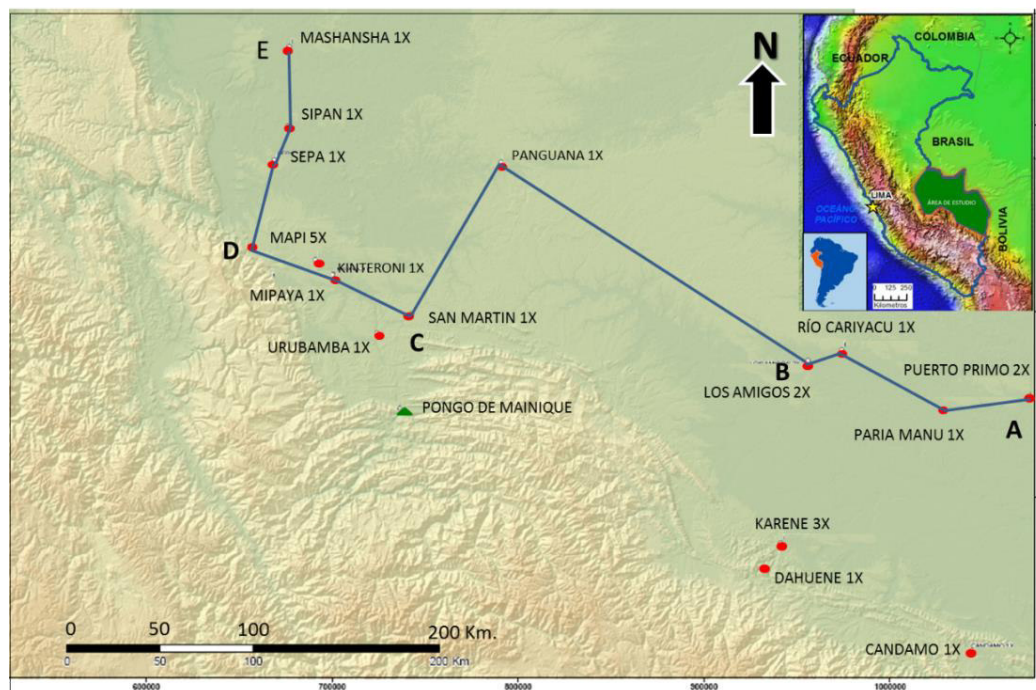


Figura 181, Mapa de ubicación de las secciones de correlación de secuencias estratigráficas A, B, C, D, E, con pozos exploratorios perforados en la cuenca de Madre de Dios y Sur de cuenca Ucayali.

5.2.3.1 Sección Estratigráfica A-B

La sección A - B de correlación de las secuencias estratigráficas tiene una orientación general Este – Oeste y se ha elaborado con los pozos: Puerto Primo – Pariamanu – Río Cariyacu y Los Amigos, corresponde al primer tramo de la sección regional. (Figura 182).

En cada uno de estos pozos se han definido las secuencias estratigráficas de tercer orden, las superficies llaves que delimitan las secuencias e internamente los sistemas encadenados, de color verde el sistema encadenado de mar bajo (LST) que solo se ha definido en la Secuencia 1, de color violeta hasta color celeste los sistemas encadenados transgresivos (TST), definidos en las cuatro secuencias, de color rojo claro a naranja el sistema encadenado de mar alto (HST).

El análisis estratigráfico a partir de la correlación de pozos interpreta que en la **Secuencia 1**, el sistema de mar bajo se caracteriza por presencia de valles incisos rellenos por rocas de origen fluvial con los mayores espesores (mayor a 120 metros), en dirección Este, disminuyendo en

dirección Oeste con claro indicativo de la orientación del aporte sedimentario continental del Este al Oeste.

El inicio sistema transgresivo en esta sección está claramente marcado por la superficie de regresión máxima (SRM) línea de color verde que se define por la entrada de rocas de origen estuarino con marcada presencia de elementos de origen marino, inicialmente durante el ingreso del mar se desarrollan depósitos evaporítico originados en lagunas esporádicas o mar restringido, pasando a depósitos carbonáticos de rampa de ángulo moderado y terminando en depósitos finos de originados en el mar abierto. El espesor del sistema transgresivo es en promedio de 200 metros con muy buena correlación y manteniendo espesor en dirección Este.

El tope de la secuencia 1 está marcado por la superficie de discordancia subaerea (DS), producida por la exposición de la rampa carbonática y la erosión de la misma.

Secuencia 2, que se caracteriza por la presencia solo del sistema encadenado transgresivo en donde los depósitos más proximales son de origen lagunar de rocas evaporíticas principalmente anhidritas, seguidamente depósitos carbonáticos de rampa de bajo ángulo, no se llega a definir depósitos finos de ambiente marino por tanto no se define la superficie de inundación máxima (SIM) internamente se pueden determinar secuencias de cuarto orden que son producto del inicio de un levantamiento e inmediato ahogamiento de la plataforma, el evento más importante marca una discordancia por ahogamiento.

Secuencia 3, caracterizada por la presencia de los sistemas encadenados transgresivo (TST) y de mar alto (HST), en donde los depósitos más proximales son de origen lagunar compuestos por rocas evaporíticas principalmente anhidritas, seguidamente depósitos carbonáticos de rampa de bajo ángulo con presencia de facies de carbonatos microbiales, facies packstone, grainstone intercalados con mudstones generados en la parte interna de la rampa, en la parte externa de la rampa facies más gruesas boundstone y grainstone en la zona de encuentro de corrientes y profundizando los depósitos son más marinos de mudstones hasta lutitas

grises ya francamente marinas, se ha identificado la superficie de máxima inundación (SIM) que marca el inicio del sistema encadenado de mar alto (HST) que se inicia con la somerización paulatina de la rampa desde externa hasta interna, el límite de la secuencia 3 es la inundación de la plataforma que marca un límite de secuencia (SB).

Secuencia 4 caracterizada por la presencia de los sistemas encadenados transgresivo (TST) está presente en todos los pozos y tiene una disminución de espesor por erosión de la discordancia Ene – Copacabana en dirección Oeste y el sistema de mar alto (HST) está presente solo en los pozos Pariamanu y Puerto Primo sufriendo fuerte erosión hasta su desaparición en dirección Oeste. Los depósitos más proximales son originados en la rampa interna con depósitos carbonáticos de facies de carbonatos microbiales, facies packstone, grainstone intercalados con mudstones en la parte externa de la rampa facies más gruesas boundstone y grainstone y profundizando los depósitos son más marinos de musmones hasta lutitas grises identificado la superficie de máxima inundación (SIM) que marca el inicio del sistema encadenado de mar alto (HST) que se inicia con la somerización paulatina de la rampa desde externa hasta interna, el límite de la secuencia 4 es una discordancia.

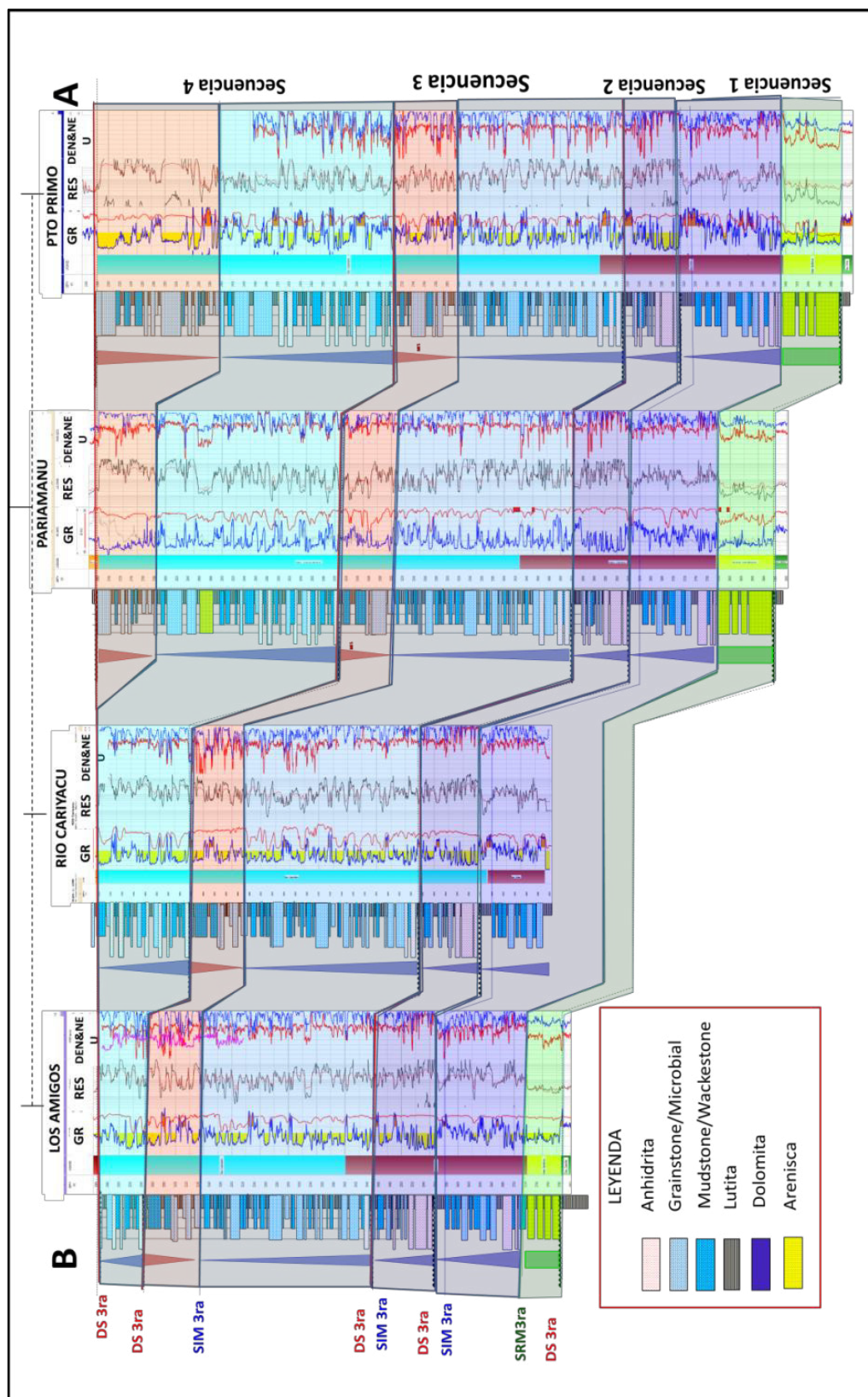


Figura 182, Sección de correlación A-B de secuencias estratigráficas interpretación de registros eléctricos.

5.2.3.2 Secciones Estratigráficas, B – C

La sección B - C de correlación de las secuencias estratigráficas tiene una orientación general Nor Este – Sur Oeste y se ha elaborado con los pozos Puerto Primo – Panguana – San Martín 1X. (Figura 183).

El análisis estratigráfico a partir de la correlación de pozos interpreta que en la **Secuencia 1**, el sistema de mar bajo (LST) se caracteriza por presencia de canales rellenos por rocas de origen fluvial – estuarina, con menor espesor en dirección Sur Este a en promedio 25 m.

El inicio sistema transgresivo (TST) está claramente marcado por la superficie de regresión máxima (SRM) que se define por la entrada de rocas de origen estuarino y continúan depósitos evaporítico de origen lagunar o mar restringido, pasando a depósitos de rampa carbonática de ángulo bajo y terminando en depósitos arcillosos de origen marino, el espesor es del sistema transgresivo (TST) en la secuencia 1 es en promedio de 150 metros manteniendo espesor en dirección Nor-Este, el tope de la secuencia 1 está marcado por la superficie de discordancia subaerea (DS), producida por la exposición de la rampa carbonática y la erosión de la misma.

La Secuencia 2, cabe señalar que en dirección al pozo Panguana el efecto de la discordancia erosiva post Copacabana a barrido las secuencias 2, 3 y 4 en el denominado Alto de Manu, en dirección Sur Oeste hacia el pozo San Martín se han preservado las secuencias 2, 3 y 4, logrando su mayor expresión de la secuencia 4. Caracterizada por la presencia solo del sistema encadenado transgresivo en donde los depósitos más proximales son de origen lagunar de rocas evaporíticas (anhidritas), seguidamente depósitos carbonáticos de rampa de bajo ángulo, no se definen depósitos finos de ambiente marino, no definiendo la superficie de inundación máxima (SIM).

En dirección al Sur hacia el pozo San Martín 1X se desarrollan las cuatro secuencias, la Secuencia 1 en la parte del sistema de mar bajo (LST) ya corresponde a depósitos estuarinos sin la presencia de depósitos fluviales, el inicio del sistema transgresivo (TST) se caracteriza por depósitos de llanura estuarina o mareales con presencia de carbonatos tipo mudstone, wackestone, microbiales de rampa interna, pasando a rampa externa facies grainstone, boundstone, no se define claramente depósitos de origen marino probablemente canibalizados por la secuencia depositada arriba.

La Secuencia 2, se caracteriza por la presencia de facies más proximales del ambiente lagunar con magros depósitos evaporíticos de anhidritas y continuando por depósitos de rampa interna en este pozo no se reconocen facies de plataforma externa ni marinas, todo esto dentro del sistema transgresivo (TST).

La Secuencia 3 se inicia con la somerización o casi exposición de la rampa deposición de facies más proximales, pasa a rampa interna y rampa externa con las típicas facies de cada subambiente llegando a depósitos finos de origen marino fin del sistema transgresivo (TST) con la determinación de la superficie de máxima inundación (SIM) y el inicio del sistema de mar alto con depósitos de rampa interna con facies claramente progradantes.

La secuencia se inicia con los depósitos más proximales de origen lagunar compuestos por rocas evaporíticas principalmente anhidritas, seguidamente depósitos carbonáticos de rampa de bajo ángulo con presencia de facies de carbonatos microbiales, facies packstone, grainstone intercalados con mudstones generados en la parte interna de la rampa, en la parte externa de la rampa facies más gruesas boundstone y grainstone en la zona de encuentro de corrientes y profundizando los depósitos son más marinos de mudstone hasta lutitas grises ya francamente marinas, se ha identificado la superficie de máxima inundación (SIM) que marca el inicio del sistema encadenado de mar alto (HST) que se inicia con la somerización paulatina de la rampa desde externa hasta interna, el límite de la secuencia 3 es la inundación de la plataforma que marca un límite de secuencia (SB) es una discordancia.

La Secuencia 4 con la deposición de facies de rampa interna, pasando a facies de rampa externa finalizando el sistema transgresivo (TST) en facies marinas la identificación de la superficie de máxima inundación y el inicio del sistema de mar alto (HST) que se caracteriza por las facies con apilamiento progradante de plataforma externa pasando a interna y terminando a facies proximales de origen tidal, el fin de la secuencia es la discordancia pre Unidad Ene (DS) que en la zona del pozo San Martín 1 X no ha erosionado totalmente este sistema.

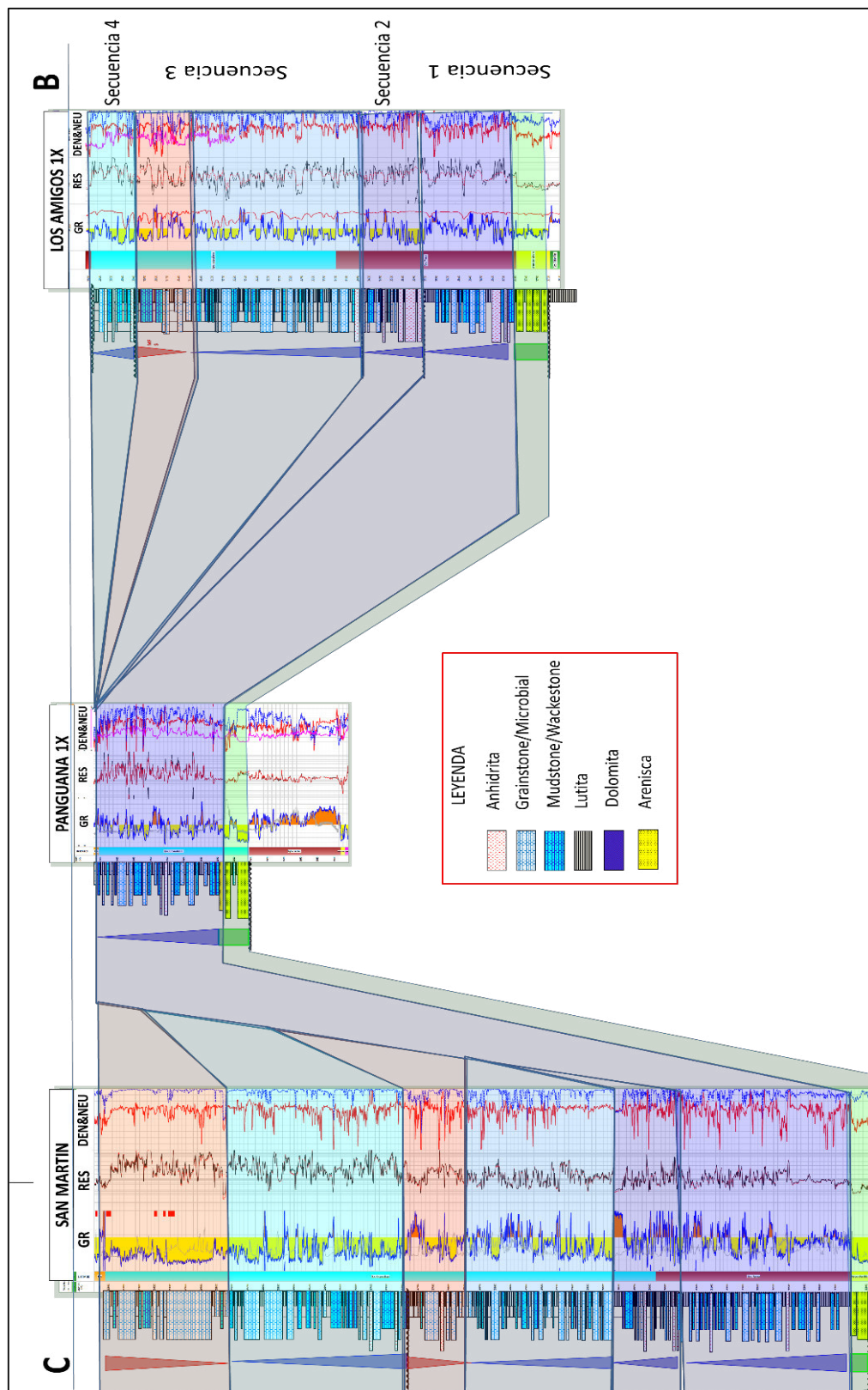


Figura 183, Sección de correlación B-C de secuencias estratigráficas interpretación de registros eléctricos.

5.2.3.3 Secciones Estratigráficas, C – D

La sección C - D de correlación de las secuencias estratigráficas tiene orientación Este – Oeste, desde San Martín – Mipaya – Mapi y dirección Norte desde el pozo Mapi a pozo Sepa. (Figura 184).

La correlación de perfiles integrales de pozos define la **Secuencia 1** iniciando con los depósitos del sistema de mar bajo (LST), caracterizados por la presencia de canales y barras de origen estuarino, con espesor promedio de 25 m.

El inicio sistema transgresivo (TST) en esta sección está claramente marcado por la superficie de regresión máxima (SRM) que se inicia por la deposición de rocas de origen mixto de los ambientes estuarino y lateralmente pequeños depósitos evaporíticos, continua con la presencia de depósitos de la rampa carbonática interna y externa terminando con la deposición rocas finas de origen marino, el espesor en promedio es de 200 metros, con muy buena continuidad en la dirección Este – Oeste.

El tope de la Secuencia 1 está marcado por la superficie de discordancia subaerea (DS), producida por la exposición de la rampa carbonática y la erosión de la misma e inicio de la Secuencia 2.

La Secuencia 2, se caracteriza por la presencia de facies más proximales del ambiente lagunar con magros depósitos evaporíticos de anhidritas y continuando por depósitos de rampa interna en este pozo no se reconocen facies de plataforma externa ni marinas, todo esto dentro del sistema transgresivo (TST).

La Secuencia 3 se inicia con la somerización o casi exposición de la rampa y la deposición de facies más proximales luego pasa por depósitos de la rampa interna y la rampa externa, llegando a depósitos finos del ambiente marino el sistema transgresivo (TST) termina con el reconocimiento de la superficie de máxima inundación (SIM) e inicia el sistema de mar alto (HST) con depósitos de rampa interna con facies claramente progradantes.

El desarrollo de la secuencia 3, se caracteriza con el inicio de la deposición de facies de origen lagunar compuestas por rocas evaporíticas, tipo anhidritas, seguidamente depósitos de rampa de bajo ángulo con presencia de facies de carbonatos microbiales, facies packstone, grainstone intercalados con mudstones generados en la parte interna de la rampa, en la

parte externa de la rampa facies más gruesas boundstone y grainstone en la zona de encuentro de corrientes y profundizando los depósitos son más marinos de mudstones hasta lutitas grises ya francamente marinas, terminando en la superficie de máxima inundación (SIM) que marca el inicio del sistema encadenado de mar alto (HST) que se inicia con la somerización paulatina de la rampa desde externa hasta interna, el límite de la secuencia 3 es la inundación de la plataforma que marca un límite de secuencia (SB) que es una discordancia.

La **Secuencia 4** con la deposición de facies de rampa interna, pasando a facies de rampa externa finalizando el sistema transgresivo (TST) en facies marinas la identificación de la superficie de máxima inundación y el inicio del sistema de mar alto (HST) que se caracteriza por las facies con apilamiento progradante de plataforma externa pasando a interna y terminando a facies proximales de origen tidal, el fin de la secuencia es la discordancia (DS) pre Unidad Ene.

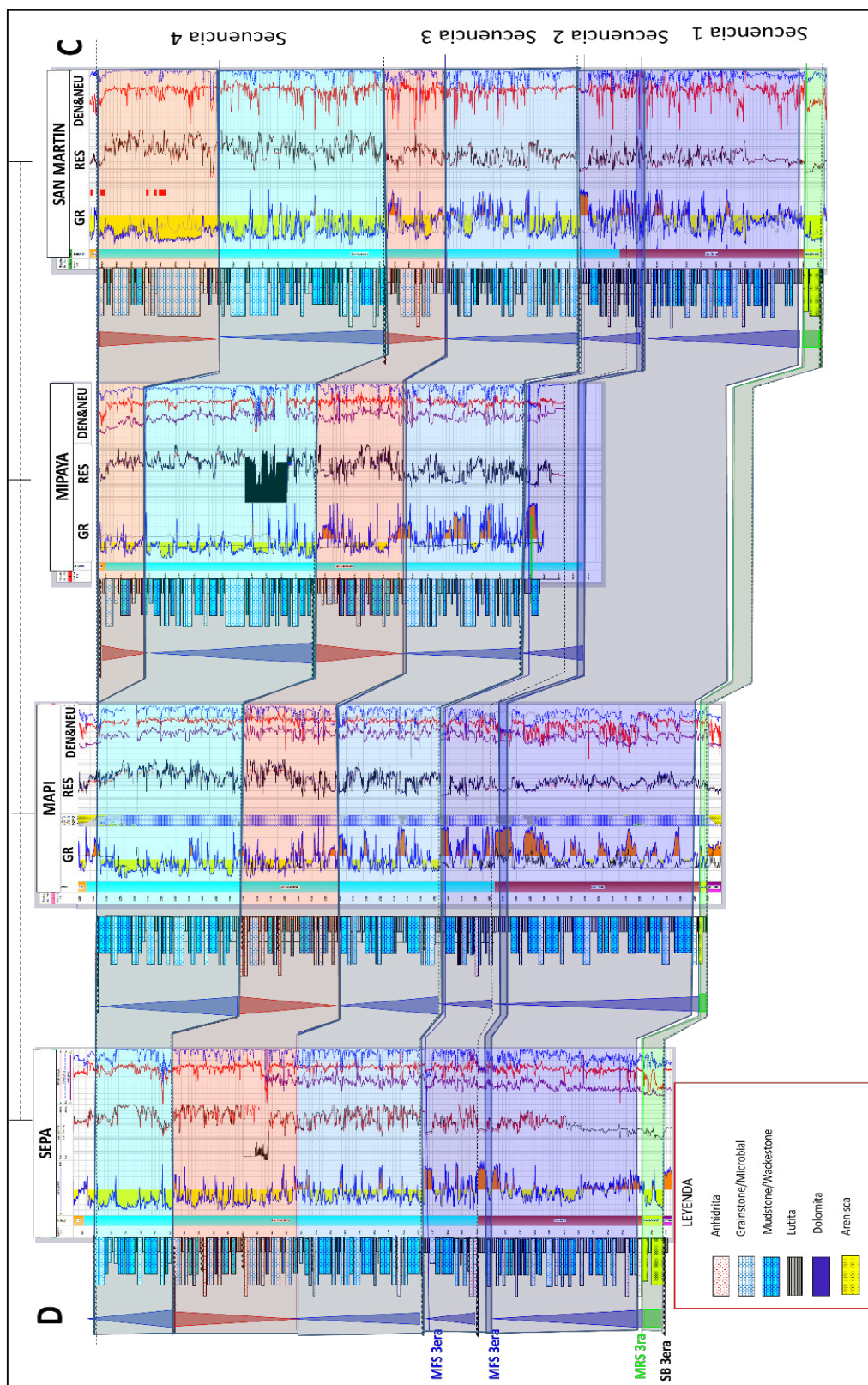


Figura 184, Sección de correlación C-D de secuencias estratigráficas interpretación de registros eléctricos.

5.2.3.4 Secciones Estratigráficas D – E

La sección D - E de correlación de las secuencias estratigráficas tiene orientación Norte – Sur, a partir de los pozos Mashansha, Sepa, Sipan, y Mapi. (Figura 185).

El análisis estratigráfico a partir de la correlación de pozos interpreta que en la **Secuencia 1**, el sistema de mar bajo (LST) se caracteriza por presencia de canales rellenos por rocas de origen fluvial - estuarino manteniendo el espesor promedio de 25 m.

El inicio sistema transgresivo (TST) en esta sección está claramente marcado por la superficie de regresión máxima (SRM) que se define por la entrada de rocas de origen mixto estuarino y lateralmente pequeños depósitos evaporíticos originados en un mar restringido durante el inicio de la transgresión marina, luego pasan a depósitos carbonáticos de la rampa de bajo ángulo interna y externa, terminando en depósitos finos de origen marino, el espesor en promedio es de 200 metros con muy buena continuidad en dirección Este - Oeste, el tope de la secuencia 1 está marcado por la superficie de discordancia subaerea (DS), producida por la exposición de la rampa carbonática y la erosión de la misma encima de la cual inicia la Secuencia 2.

La **Secuencia 2** se caracteriza por la presencia de facies proximales del ambiente lagunar con pequeños depósitos evaporíticos de anhidritas y continuando por depósitos de rampa interna en este pozo no se reconocen facies de plataforma externa ni marinas, todo esto dentro del sistema transgresivo (TST).

La **Secuencia 3** se inicia con la somerización o casi exposición de la rampa deposición de facies más proximales, pasa a rampa interna y rampa externa con las típicas facies de cada subambiente llegando a depósitos finos de origen marino fin del sistema transgresivo (TST) con la determinación de la superficie de máxima inundación (SIM) y el inicio del sistema de mar alto con depósitos de rampa interna con facies claramente progradantes de los sistemas encadenados transgresivo (TST) y de mar alto (HST).

El inicio de la secuencia es con depósitos proximales de origen lagunar compuestos por rocas evaporíticas principalmente anhidritas, seguidamente depósitos carbonáticos de rampa de bajo ángulo con presencia de facies de

carbonatos microbiales, facies packstone, grainstone intercalados con mudstones generados en la parte interna de la rampa, en la parte externa de la rampa facies más gruesas boundstone y grainstone en la zona de encuentro de corrientes y profundizando los depósitos son más marinos de mudstones hasta lutitas grises ya francamente marinas.

La identificación de la superficie de máxima inundación (SIM) marca el inicio del sistema encadenado de mar alto (HST) que genera con la somerización paulatina de la rampa desde externa hasta interna, el límite de la secuencia 3 es la inundación de la plataforma que marca un límite de secuencia (SB) o discordancia (DS) encima de la cual inicia la Secuencia 4.

La Secuencia 4, comienza con la deposición de facies de rampa interna, pasando a facies de rampa externa finalizando el sistema transgresivo (TST) en facies marinas y la identificación de la superficie de máxima inundación e iniciando el sistema de mar alto (HST) que se caracteriza por las facies con apilamiento progradante de plataforma externa pasando a interna y terminando a facies proximales de origen tidal, el fin de la secuencia es la discordancia (DS) pre Unidad Ene.

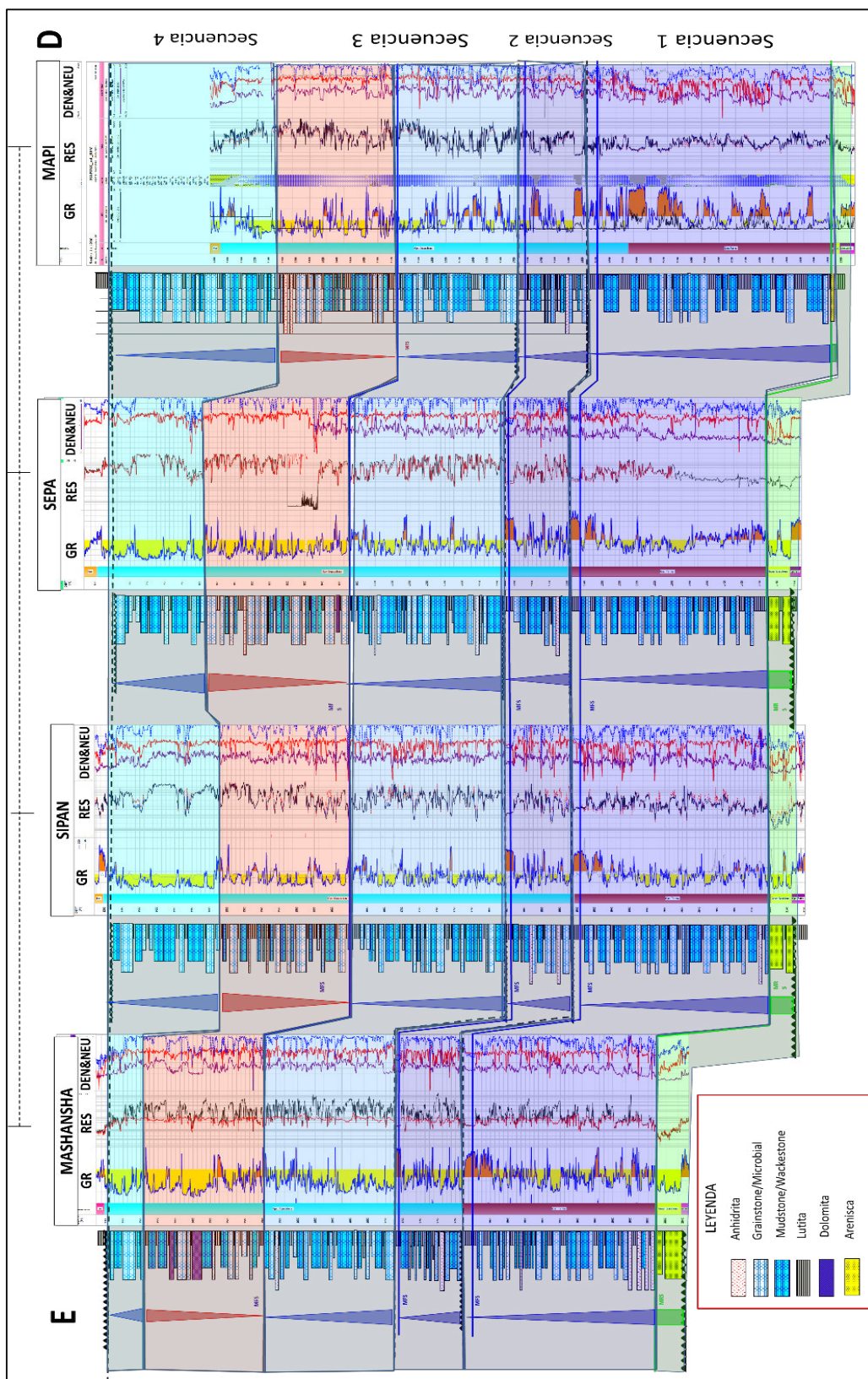


Figura 185, Sección de correlación D-E de secuencias estratigráficas interpretación de registros eléctricos.

5.2.3.5 Mapas isópacos de distribución de Sistemas Encadenados

Mapa isópaco, de la Secuencia 1, sistema encadenado de mar bajo (LST), con el desarrollo de los ambientes fluvio – estuarino. (Figura 186).

Se aprecia dos ejes de deposición del ambiente deposicional fluvial en la cuenca de Madre de Dios con orientación de flujo de deposición de Este a Oeste y el segundo en la cuenca Ucayali con orientación de deposición de Nor Este a Sur Oeste, ambos sistemas de deposición en dirección Este se adelgazan con influencia del sistema de deposición estuarino al lagunar – sabkha ya en el sistema encadenado transgresivo (TST).

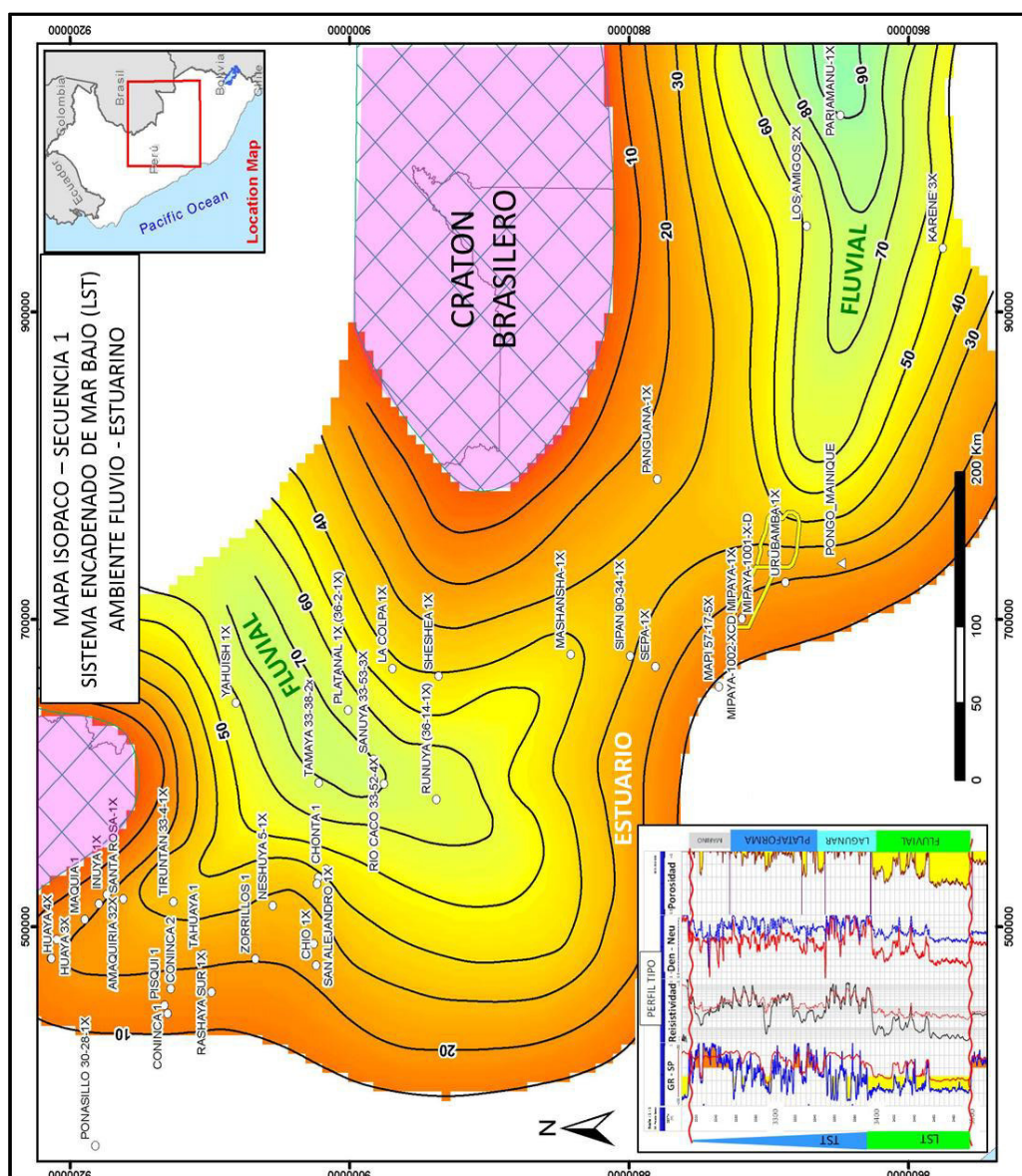


Figura 186, Muestra mapa isópaco de Secuencia 1, del sistema encadenado de mar bajo (LST) Mapa isópaco, Secuencia 1,

Mapa isópaco de la Secuencia 1, del sistema encadenado transgresivo (TST), con el desarrollo de los ambientes deposicionales lagunar - sabkha a estuarino – mareal. (Figura 187).

Se aprecia el inicio del avance del mar hacia continente que se manifiesta con la subida del nivel freático y la generación de lagunas en humedales o en ambientes más secos (sabkha) generándose por precipitación rocas evaporíticas, principalmente anhidritas y la generación de colonias de microbios.

El mapa isópaco de estos ambientes muestra una relación de engrosamiento con el mapa del sistema encadenado de mar bajo (LST) Figura 186, en una clara evidencia de la transgresión que se produce por el ahogamiento del sistema deposicional fluvial y el dominio inicial del sistema estuarino - mareal (ley de Walther), en dirección Oeste y Sur – Oeste, estos dos sistemas deposicionales tienden a adelgazarse hasta desaparecer para dar paso al ambiente shoreface (litoral) o rampa interna carbonática con influencia silicoclástica al inicio y el desarrollo de depósitos de rocas evaporíticas, marcando la superficie de máxima regresión e inicio del sistema encadenado transgresivo (TST).

El mapa muestra un control paleo estructural dado por la geomorfología del cratón brasileiro que delinea la paleo línea de costa al Este y generara las divisorias de aguas y paleo ríos que se observan en la Figura 186 que son parte del sistema encadenado de mar bajo (LST).

Este sistema encadenado transgresivo (TST), Figura 187, es de gran importancia dentro de los elementos del Sistema Petrolero porque serían las rocas sello (evaporitas) de las rocas reservorio de origen fluvial – estuarino conocidas en litoestratigrafía con el nombre de Green Sandstone. (Areniscas Verdes).

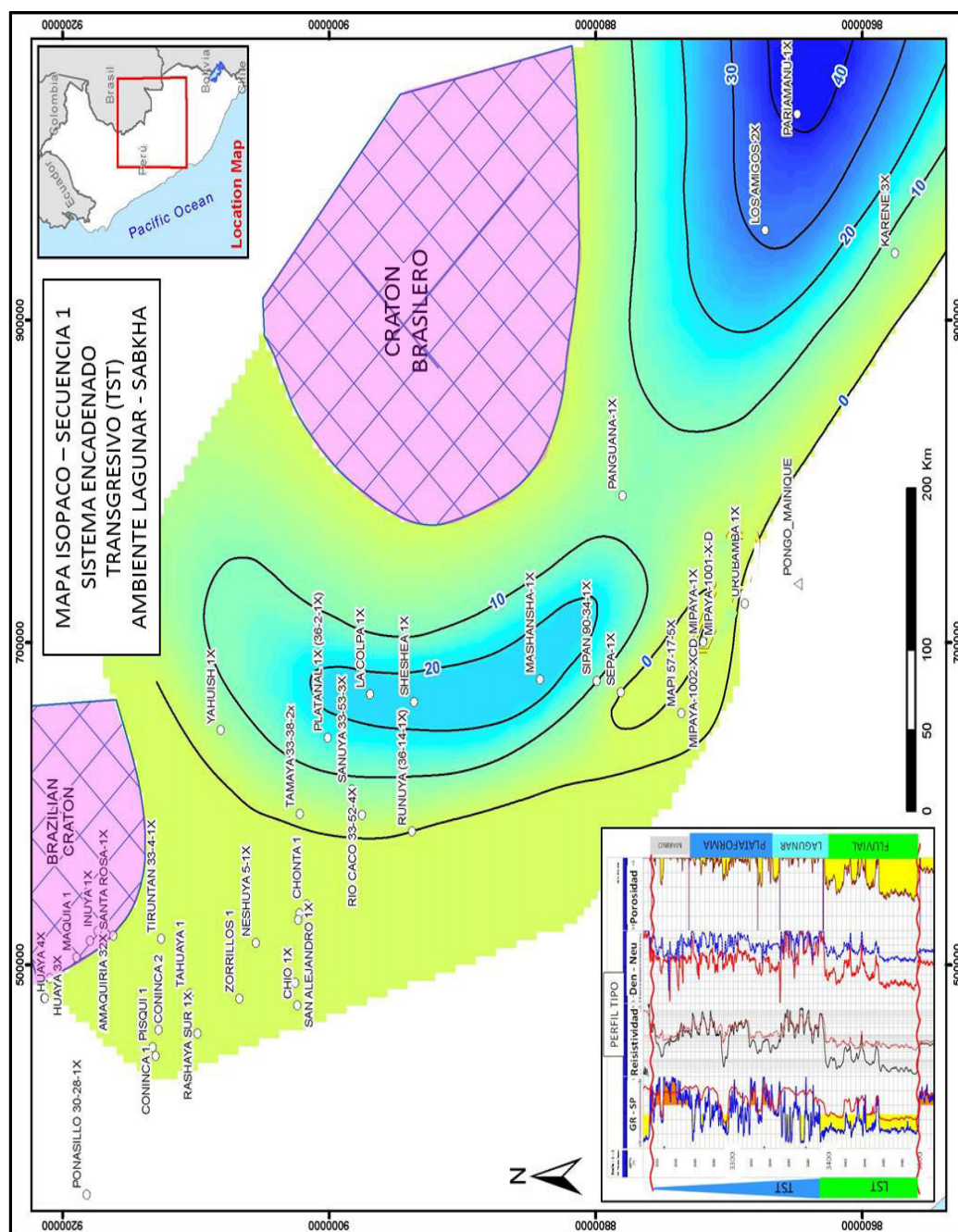


Figura 187, Muestra mapa isópaco de Secuencia 1, del sistema encadenado transgresivo (TST). Depósitos evaporíticos.

Mapa Isópaco de Secuencia 1, del sistema encadenado transgresivo (TST) de los ambientes deposicionales de plataforma o rampa carbonática hasta el inicio del sistema deposicional francamente marino, El mapa muestra un engrosamiento en general en dirección Sur y Sur Oeste a más de 200 metros de espesor, así como fuerte adelgazamiento en dirección Norte y Nor

Este. Dentro de este mapa isópaco se encuentran los subambientes de rampa o plataforma interna y externa y el inicio del sistema marino, es en este parte del sistema encadenado (TST) donde se depositan principalmente rocas de origen carbonático y en un orden secuencial de alta resolución pueden desarrollar niveles con porosidad que constituirían las rocas reservorio de interés en la exploración de hidrocarburos. (Figura 188).

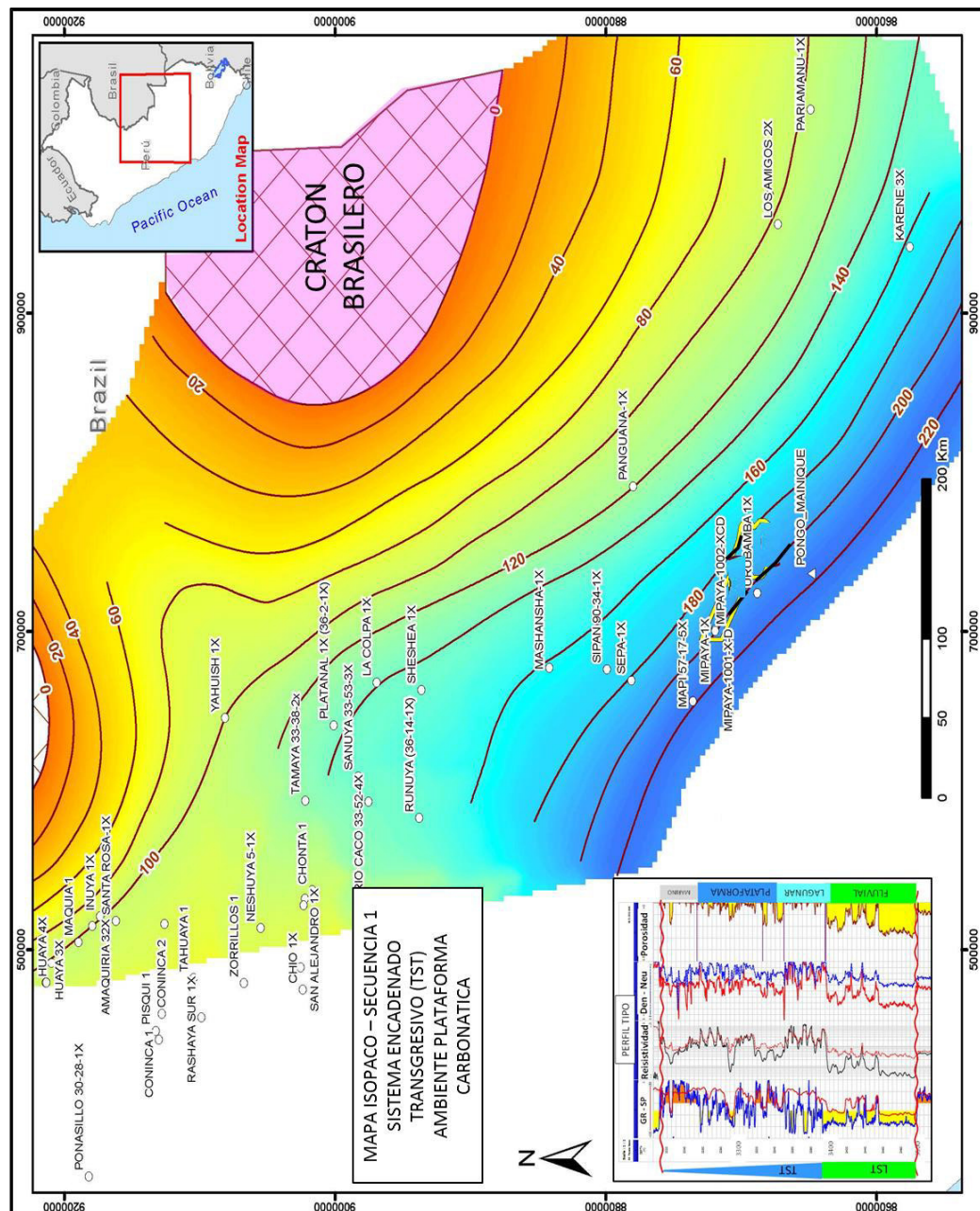


Figura 188, Muestra mapa isópaco de Secuencia 1, del sistema encadenado transgresivo (TST) de los ambientes deposicional de plataforma o rampa carbonática.

5.2.4 Correlación Sísmica – Estratigrafía de Secuencias

La correlación sísmica regional define cuatro grandes ciclos sedimentarios: Devónico – Silúrico, Carbonífero temprano, Carbonífero tardío – Pérmico y Cretácico, los cuales están definidos por discordancia – hiatos regionales y generalmente de carácter erosivo y de no deposición.

El ciclo I, sedimentario del Devónico - Silúrico (Grupo San Gabán - Cabanillas), depositado sobre el basamento cristalino (Cratón) con estratos que van haciendo *on lap* sobre el basamento. (Color celeste).

El ciclo II, sedimentario del Carbonífero temprano (Grupo Ambo), depositados en clara discordancia y haciendo *on lap* sobre rocas del grupo Cabanillas (color amarillo).

El ciclo III, Carbonífero tardío – Pérmico, (Grupo Tarma – Copacabana - Ene) depositados sobre la discordancia – hiato y haciendo *on lap* sobre esta así mismo en parte infrayace a la discordancia erosiva pre Cretácica.

El ciclo sedimentario Cretácico IV, (Grupo Mainique hasta la Formación Vivian) de color verde en sección sísmica, se depositó sobre la discordancia erosiva y angular pre Cretácica hasta la discordancia pre Terciario.

Como parte de la interpretación sísmica se muestran dos secciones, [Figura 189](#).

La primera sección sísmica de orientación casi Este–Oeste (Sección 1) muestra el alto del basamento denominado Manu que controla la deposición de los ciclos I, II, y parcialmente el ciclo III, mostrando claro *on lap* de los estratos sobre el alto. ([Figura 190](#)).

La segunda sección sísmica con orientación Norte–Sur (Sección 2) que va perpendicular a la primera por el lado Sur del alto de Manu y pasando por el pozo los Amigos, se observa en la porción Sur un paralelismo de los estratos y en dirección Norte hacen *on lap* sobre el basamento. ([Figura 191](#)).

La identificación de secuencias de tercer orden en el ciclo sedimentario Tarma – Copacabana en sísmica se ha podido realizar con la integración de los perfiles eléctricos, debido a que la resolución de la información sísmica permite delimitar las grandes discordancias que separan los ciclos sedimentario, más no así la discretización interna en secuencias de mayor

resolución que si es posible con los perfiles eléctricos de pozos y en afloramientos.

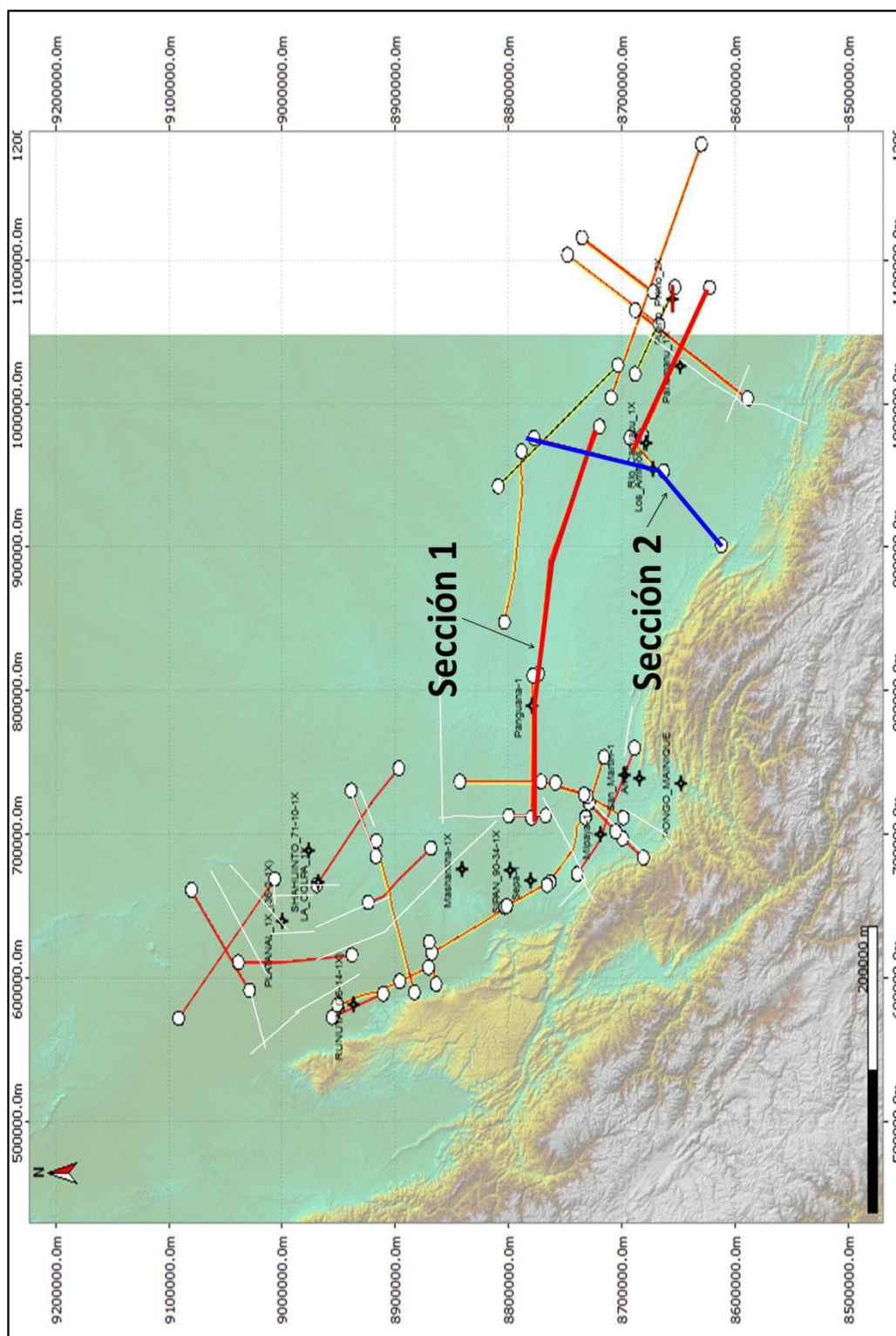


Figura 189, Mapa de ubicación de secciones sísmicas de correlación regional.

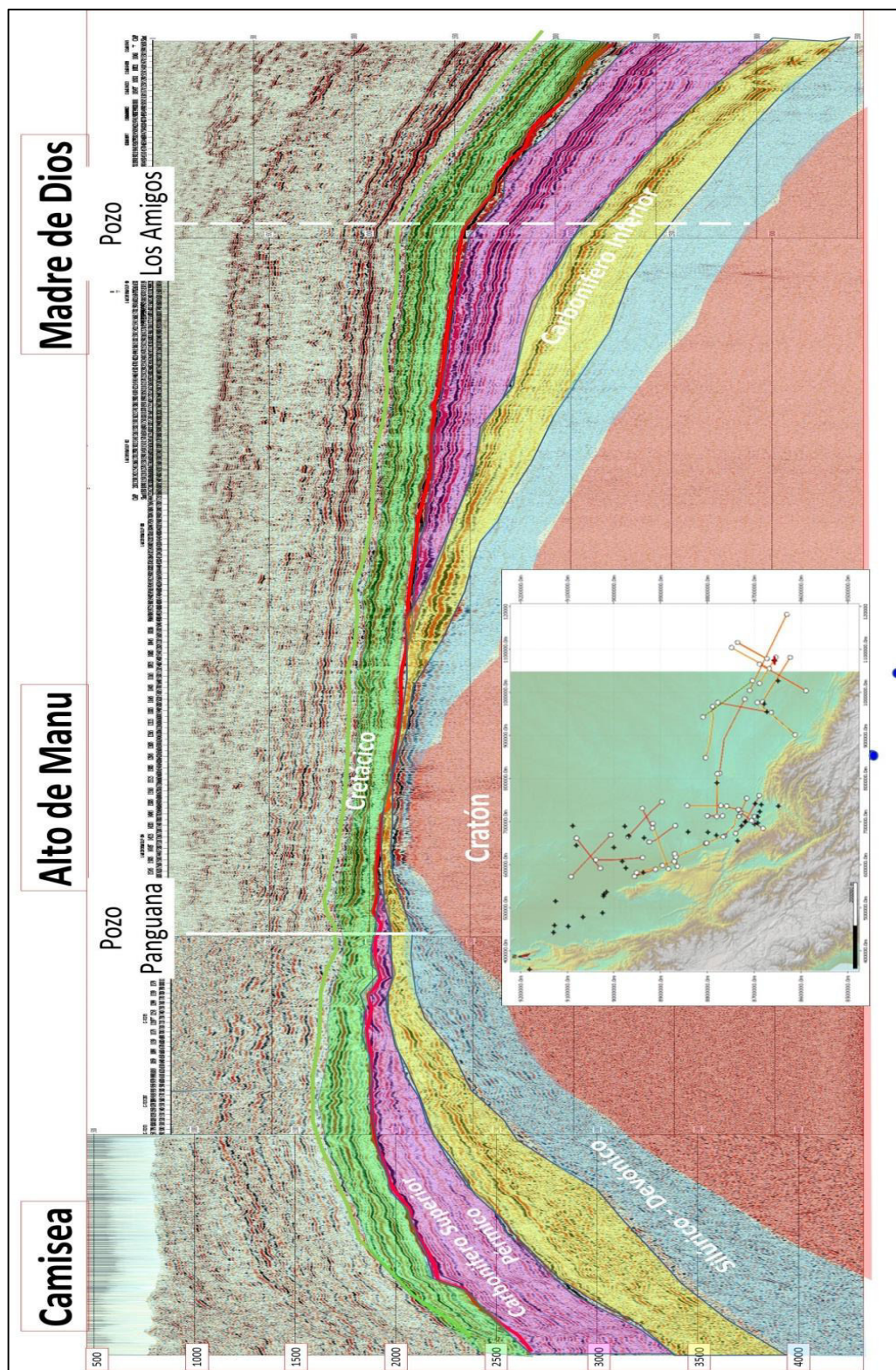


Figura 190, Sección sísmica interpretada Este – Oeste que cruza la cuenca de Madre de Dios, el alto del Manu y la subcuenca de Camisea y la ubicación de los pozos los Amigos en Madre de Dios y el pozo Panguana en la cuenca ante país al Este de Camisea.

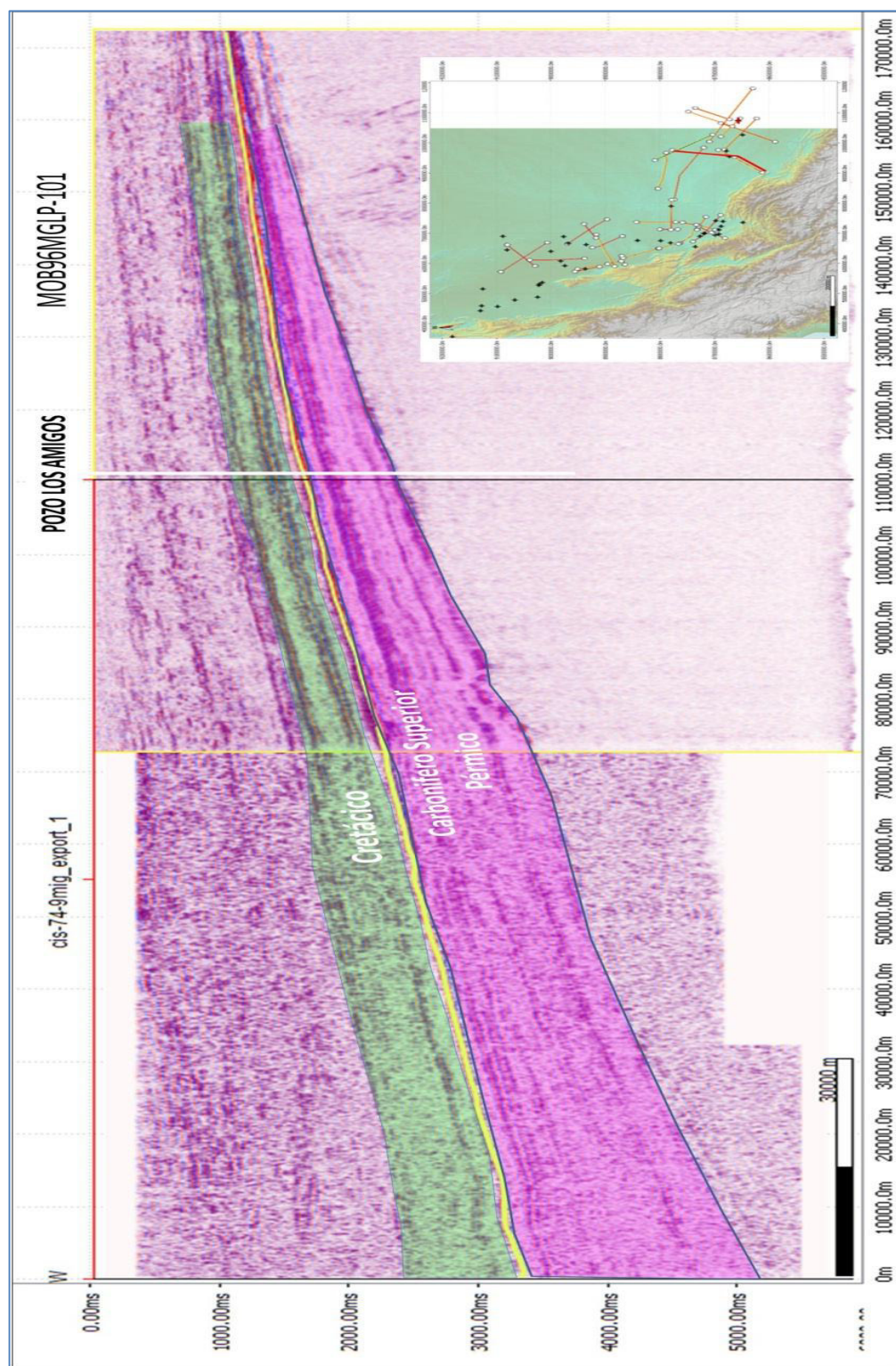


Figura 191, Sección sísmica interpretada Norte – Sur que cruza la cuenca de Madre de Dios, perpendicularmente por el lado Sur del alto del Manu y por el pozo los Amigos.

5.2.5 Integración Sísmica – Perfiles - Estratigrafía de Secuencias

La Figura 192 muestra el detalle de la sección sísmica interpretada Este – Oeste Sur integrada con el perfil eléctrico interpretado con secuencias estratigráficas de tercer orden y sus respectivos sistemas encadenados identificadas en pozo los Amigos.

La señal sísmica definen dos patrones de respuesta uno con fuerte señal o amplitud sísmica que corresponde las facies transgresivas de la rampa carbonática y otra difusa con baja señal o amplitud sísmica que corresponden a las facies evaporíticas y margosas del sistema encadenado transgresivo.

Las facies del sistema de mar bajo principalmente silicoclásticas se definen con respuesta intermedias de señal sísmica en la base del ciclo sedimentario.

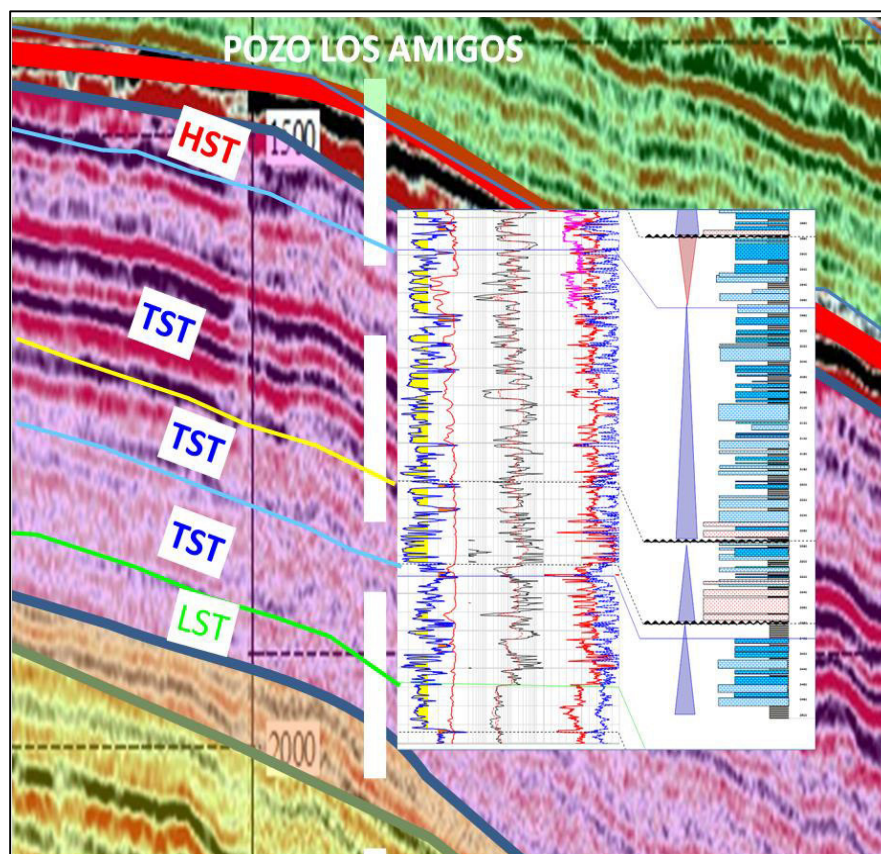


Figura 192, Detalle de sección sísmica interpretada Este – Oeste Sur y perfil eléctrico interpretado con secuencias estratigráficas de tercer orden y sus respectivos sistemas encadenados identificadas en pozo los Amigos e integradas a la sección sísmica.

5.3 Prueba de Hipótesis

5.3.1 La prueba de la hipótesis general:

La aplicación de la Estratigrafía de Secuencias en rocas carbonáticas del Pérmico, apoyará a la Exploración por Hidrocarburos en la búsqueda de nuevas oportunidades en los reservorios aún inexplorados en el país.

- Los grandes descubrimientos de hidrocarburos en las últimas cuatro décadas en el mundo han tenido como base la Estratigrafía de Secuencias. En Brasil, golfo de México, costa Oeste de África, Estados Unidos de Norteamérica (no convencionales), etc.
- Las estadísticas mundiales indican que los reservorios carbonáticos contienen más del 60% de las reservas de petróleo y el 40% de las reservas de gas. En el Perú existen rocas carbonáticas a lo largo de toda la columna estratigráfica principalmente en el Paleozoico, Jurásico y Cretácico, sin embargo, la estadística mundial no se cumple y la razón principal es que han sido poco estudiadas y exploradas.
- La Estratigrafía de Secuencias ha permitido interpretar la evolución deposicional y genética de la rampa carbonática Pérmico - Carbonífera definiendo cuatro secuencias e internamente los sistemas deposicionales encadenados lo que permitirá en la exploración de frontera manejar la predictibilidad estratigráfica – sedimentaria y orientar la exploración.
- La nueva organización estratigráfica de las Unidades Tarma – Copacabana basado en secuencias e internamente en sistemas deposicionales encadenados limitados por superficies llave marca verticalmente intervalos preferentes para la generación de porosidad importante para definir las rocas reservorio.
- El origen de las rocas carbonáticas Tarma – Copacabana en mares restringidos elevan su potencial exploratorio como sistema petrolero único con la presencia de rocas madre, reservorio y sello, generándose las oportunidades exploratorias en trampas estratigráficas, mixtas y no convencionales.

5.3.2 Hipótesis Específicas:

La Estratigrafía Secuencial es una alternativa para la búsqueda de trampas estratigráficas en rocas carbonáticas.

- Las trampas estratigráficas principalmente se encuentran en los cambios de facies sedimentarias o muy cerca de superficies estratigráficas. La Estratigrafía de Secuencias define cada uno de estos elementos y los ubica en contexto horizontal y vertical, lo que permite ser predictivo en la valoración de las posibilidades de trampas estratigráficas y la predictividad de su localización.

Las secuencias estratigráficas integraran a las rocas generadoras, sello y reservorio del sistema petrolero.

- La secuencia estratigráfica internamente está compuesta por los sistemas deposicionales encadenados que dependiendo de los ambientes sedimentarios que los constituyan van a ser más ricos en un tipo de roca.
- Es así que los sistemas encadenados de mar bajo (LST) hay un dominio de las rocas reservorio sobre las rocas sello y generadoras por su alta influencia continental principalmente de rocas silicoclásticas.
- Los sistemas encadenados transgresivos (TST) en las secuencias carbonáticas se inician mayoritariamente en mares o plataformas restringidas siendo potenciales generadoras de rocas generadoras y sello.
- Estas características de las secuencias estratigráficas carbonáticas las hace únicas para poder desarrollar su propio sistema petrolero.

La integración de la Sedimentología con la Estratigrafía de Secuencias permitirá la construcción del modelo Geológico – Estratigráfico predictivo para la exploración de hidrocarburos.

- La Estratigrafía de Secuencias es la técnica que involucra todas las disciplinas geológicas siendo la sedimentología pilar fundamental para el análisis dado que a partir de esta se definen las facies sedimentarias, se asocian para determinar los elementos arquitecturales y definir los ambientes deposicionales lo que permite la elaboración de un modelo

Geológico – Estratigráfico predictivo para la mejor orientación de la exploración en las rocas carbonáticas del pérmico – Carbonífero de las cuencas de madre de Dios y Ucayali.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Las trampas estratigráficas en rocas carbonáticas tienen su origen en los cambios ambientales en el tiempo, los que generan el crecimiento de los bioelementos, los cuales en exposiciones periódicas puede generar capas de rocas porosas o impermeables dentro del armazón estratigráfico.

La Estratigrafía de Secuencias es una muy buena alternativa para entender genéticamente y deposicionalmente las rocas, con el conocimiento de las facies sedimentarias, definiciones de los ambientes sedimentarios y las superficies llaves las cuales marcan el inicio o el fin de los sistemas encadenados y con estos entender cómo están distribuidas las rocas y las potenciales trampas estratigráficas.

La Litoestratigrafía identifica unidades con el criterio litológico lo cual genera mucha diversidad de unidades y nombres que no tiene la flexibilidad de manejos tridimensional que la Estratigrafía de Secuencias tiene al definir Secuencias deposicionales e internamente dividida en sistemas encadenados que dan las relaciones areales y verticales de los medios ambientes deposicionales.

- La integración roca – perfil es parte fundamental para llevar a subsuelo el análisis de Estratigrafía de Secuencias de afloramientos con lo que se reconocieron las superficies llave y con estas los sistemas encadenados, este conocimiento es clave para determinar dentro de una secuencia donde están las rocas reservorio, sello y generadoras.

Es así las rocas reservorio se encuentran en sistema de mar bajo (LST), al inicio del sistema transgresivo en la plataforma interna y externa y en el sistema de mar alto (HST) cerca a la superficie de discordancia subaérea. Las rocas sello se encuentran en la plataforma interna y ambiente marino del sistema transgresivo.

Las rocas generadoras principalmente están en el ambiente de mar restringido o lagunar al inicio del sistema transgresivo.

- La sedimentología es una de las disciplinas importantes en la aplicación de la estratigrafía de Secuencia dado que aporta el conocimiento para el reconocimiento de las facies sedimentarias que asociadas definen los

ambientes sedimentarios y sus relaciones permiten definir las superficies llaves y con estas determinar los límites de secuencias e internamente los sistemas encadenados.

Esta información es muy importante en la construcción del modelo estratigráfico predictivo basado en secuencias e internamente en los sistemas encadenados que definen las direcciones laterales de cambio de los ambientes deposicionales encadenados durante la deposición y los cambios de del nivel del mar marcan la continuidad vertical o no.

Esto permite conceptualizar un modelo que aporta mucho conocimiento de predictibilidad de búsqueda de oportunidades exploratorias.

- El nuevo marco estratigráfico dado por las Secuencias deposicionales – genéticas en las rocas carbonáticas Permo – Carboníferas ayudara a la exploración por hidrocarburos en estas unidades, principalmente en las etapas de planificación con el mejor conocimiento de la distribución regional de los sistemas deposicionales encadenados en cada una de las secuencias, que tiene impacto directo la distribución horizontal y vertical de las rocas reservorio, sello y potenciales generadoras.
Logrando aportar valioso conocimiento para la búsqueda de prospectos estratigráficos, mixtos (Estructurales – Estratigráficos) y sistemas únicos de hidrocarburos en las cuencas de Ucayali y Madre de Dios.

RECOMENDACIONES

- Realizar los estudios a todas las Unidades Estratigráficas con la metodología de análisis de Estratigrafía de Secuencias con la finalidad de incrementar el conocimiento de la génesis y evolución de la deposición para una mejor planificación geológica de la exploración, desarrollo y control de eventos en los ámbitos minero, hidrocarburos y geodinámico – geotécnico.
- Los estudios realizados con base en Estratigrafía de Secuencias son prioritarios para ser predictivos en la búsqueda de la mejor calidad de los reservorios tanto en espesor como porosidad. Por lo que se recomienda priorizar estos estudios para ser aplicados en todas las etapas de la vida de un reservorio de hidrocarburos.
- La Estratigrafía de Secuencias es ya una técnica formal de nomenclatura estratigráfica de aplicación cada vez más usada en el mundo, en la cual la Secuencia es la unidad base e internamente se divide en los Sistemas Encadenados. Se recomienda iniciar el uso generalizado en el país para lograr alcanzar los niveles de conocimiento que permitan tener una herramienta adicional en la búsqueda de oportunidades de exploración y desarrollo por hidrocarburos y otros.

- Se recomienda en futuros proyectos de alta resolución de estratigrafía de secuencias usar la sísmica 3D para la identificación de terminaciones estratales (*on lap*, *down lap*, *off lap*), así como la información de núcleos que en conjunto apoyaran la identificación de los sistemas encadenados, superficies llave y límites de las secuencias para el mejor entendimiento estratigráfico de las unidades productivas.
- Se sugiere que en todos los proyectos futuros donde se aplique la estratigrafía de alta resolución realizar correlaciones de detalle y uso de la información petrofísica (porosidad Phi, saturación de agua Sw) en un cuarto orden a fin de tener la caracterización y ubicación de las propiedades petrofísicas dentro del marco predictivo que da la estratigrafía de secuencias.
- Se recomienda aplicar la metodología de análisis de estratigrafía de secuencias en cuencas sedimentarias con escasa información geológica, generando modelos estratigráficos de campo basados en estratigrafía de secuencias que orienten la exploración de recursos naturales.
- Existen numerosas cuencas sedimentarias maduras con mucha información que no ha sido analizada bajo la óptica de estratigrafía de secuencias que podría apoyar la reinterpretación identificando nuevos objetivos, reevaluar los existentes.
- Se sugiere aplicar la técnica en la exploración y desarrollo de proyectos de minería y aguas subterráneas, así como en los estudios de los depósitos cuaternarios para su aplicación en geotecnia. El análisis secuencial mejoraría la predicción de eventos así como la exploración y búsqueda de recursos mineros e hídricos.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA, WEO 2013.
- ASOCIACIÓN LAGESA-CFGS. 1997. Geología de los Cuadrángulos de Obeteni y Atalaya. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Boletín N° 95, Lima Perú.
- AHR, WM. 2008. Geology Of Carbonate Reservoirs, The Identification, Description, and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks. A John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- BENTO FREIRE, E. 2012. La Caracterización Estratigráfica en alta resolución de las Secuencias Carbonáticas de origen microbial de la Formación Yacoraite, intervalo Paleoceno, en la región de Salta - Argentina: Un probable modelo predictivo para los reservorios del Pre -Sal Brasileiro. Tesis de Maestría, UFRJ -Brasil. 224p.
- BROWN, L.F., JR. AND FISHER, W.L. 1977, Seismic stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazilian rift and pull apart basins. In: Payton, C.E. (Ed.) Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 26, p, 213-248.
- CARLOTTO, V. GIL, W. 1996, Geología de los Cuadrángulos de Urubamba y Calca. INGEMMET.
- CAROZZI, A.V.; BOUROLLEC, J.; DELOFFRE, R.; RUMEAU, L. 1972. Microfaciès du Jurassique d'Aquitaine. Bulletin Centre de Recherches Pau, volume spécial, n. 1, Pau France, p. 594.
- CATUNEANU, O., 1998, Temporal significance of sequence boundaries. Sedimentary Geology. v 121, p. 157-178.
- CATUNEANU, O., 2002, Sequence Stratigraphy of clastic Systems: concepts, merits, and pitfalls. Journal of African Earth Sciences 35, p. 1-43.
- CATUNEANU, O., 2006, Principles of Sequences Stratigraphy. Amsterdam, Elsevier, 375p.

- CATUNEANU, O. et al, 2009, Towards the standardization of sequence stratigraphy, v 29, p. 1-29.
- CATUNEANU, O. et al, 2010, Sequence stratigraphy: common ground after three decades of development, v 14, p. 21-34.
- CATUNEANU, O. et al, 2011, Sequence stratigraphy: Methodology and Nomenclature. v 44, p. 173-245.
- CATUNEANU, O. ZECCHIN, M., 2013, High – resolution sequence stratigraphy: of clastic shelves II: Controls on sequence development. v 39, p. 26-38.
- CORELAB.2012. Peru Reservoirs and Seals – Onshore Basins. BS093.
- CUMINGS, ER. 1932. Misuse Of The Terms Reef And Coral Reef. Bulletin of the Geological Society of America.
- DUNHAM, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture – In: Ham, W.E., (Ed.). Classification of carbonate rocks. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. Memoir 1. p. 108-122.
- DEMICO, R. V. HARDIE, L. A. 1994. Sedimentary structures and early diagenetic features of shallow marine carbonate deposits. Tulsa: Society for Sedimentary Geology, Atlas, 1, 265p.
- DICKSON, J.A.D. 2004, Echinoderm Skeletal Preservation: Calcite-Aragonite Seas and the Mg/Ca Ratio of Phanerozoic Oceans. Journal Sedimentary Petrology, v. 74, p. 355-365.
- DUPRAZ, C. 2008. Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. Earth-Science Reviews. EARTH-01545; p. 22.
- EDUARDO, H. 2013. Peru Subandean Basins Paleogeography and their significance to Hydrocarbon Potential.
- EMBRY, A. F.; KLOVAN, J. E. A. 1971. Late Devonian reef tract on northeastern Banks Islands, Northwest Territories. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, v.19, p. 730-781.
- EMBRY, A.F., JOHANNESSEN, E.P., 1992. T–R sequence stratigraphy, facies analysis and reservoir distribution in the uppermost Triassic–Lower Jurassic succession, western Sverdrup Basin, Arctic Canada. In: Vorren, T.O., Bergsager, E., Dahl-Stamnes, O.A., Holter, E.,

- Johansen, B., Lie, E., Lund, T.B. (Eds.), Arctic Geology and Petroleum Potential. Norwegian Petroleum Society Spec. Publ. 2, Elsevier, Amsterdam, p. 121–146.
- EBERLI, G.P. 2004, seismic imaging of carbonate reservoirs and systems, in Seismic imaging of carbonate reservoirs and systems: AAPG Memoir 81, p. 1– 9.
- EMERY, D. & MYERS, K. J. 1996. Sequence Stratigraphy. 297 p. Oxford: Blackwell Science.
- FERRARESI, P. BLANCO S. 2013. Copacabana Formation – Camisea área, Sedimentologic Study. LCV.
- FOLK, R. L. 1952. Spectral subdivision of limestones types. In Ham, W.E. (Ed.) Classification of carbonate rocks: Tulsa. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, p. 62-85.
- FOLK, R. L. 1962. Spectral subdivision of limestones types, in Ham, W.E., ed. Classification of carbonate Rocks-A Symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir 1, p. 62-84.
- FOLK, R. L. 1993. SEM imaging of bacteria and nannobacteria in carbonate sediments and rocks. J. Sed. Petrol. 63:990–999, p. 54-62.
- FLÜGEL, E. 2004, Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Berlin: Springer, 976p.
- FREIRE E. ET AL 2011. Searching for potencial analogues for the Pre-Salt Santos Basin, Brazil: high-resolution stratigraphic studies of microbialite-bearing successions from Salta Basin, Argentina.
- GALLOWAY, W.E. 1975. Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of the deltaic depositional system. In: BROUSSARD, M.L. (ed). Deltas, models for exploration. Houston Geological Society, Houston, p. 87-98. Petrobras, AAPG, Milan, Italy.
- GALLOWAY, W.E. 1989a. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 73, p. 125 - 142.

- GALLOWAY, W.E. 1989b Genetic stratigraphic sequences in basin analysis: application to northwest Gulf of Mexico Cenozoic basin. American Association.
- GUIMARÃES S.P. 2014. Análise Estratigráfica em depósitos lacustres Maastrichtianos da Formação Yacoraite (Bacia de Salta - Argentina): Definição e Rastreabilidade de Sequências de alta resolução. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
- GIL, W. 2001. Evolución lateral de la deformación de un frente orogénico: Ejemplo de las cuencas subandinas entre 0° y 16°S. Tesis de doctorado, Universidad Paul Sabatier Toulouse III. p. 1-112.
- GINSBURG, R.N. y JAMES, N.P. 1974. Holocene carbonate sediments of continental shelves. In: BURK y DRAKE (Editors). The Geology of Continental Margins. Springer-Verlag, Berlin, p. 137-155.
- HAY, W.W.; SOUTHAM, J.R.; NOEL, M.R. 1976. Carbonate mass balance - cycling and deposition on shelves and deep sea. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.60, .678p.
- HE, Z. 1982. Classification and origin of oncolites. Oil and Gas Geology, v. 3 (1) p. 41-48
- HECKEL, P.H. 1974. Carbonate buildups in the geological record: a review. In: LAPORTE L.F. (Ed.) Reefs in time and space. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication, 18, p. 90-154.
- HANDFORD, R.C., LOUCKS, R.G. 1993. Carbonate depositional sequences and systems tracts – response of carbonate platforms to relative sea-level changes.
- HAM, W. E. (Ed.). 1962, Classification of carbonate rocks. Tulsa. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, 272 p
- HORBURY, A.D. 1996. the Urswick Limestone Formation of the southern Lake District, northern England. Geological Society, London, Special Publications, v. 107; p. 221-237.
- HOWARD ENERGY PARTNERS, 2015. La historia del Eagle Ford, Texas, USA.

- HUNT, D., TUCKER, M.E., 1992. Stranded Para sequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base level fall. *Sediment. Geol.* 81, p. 1–9.
- JAMES, N.P. 1983. Reef Environment. In: SCHOLLE, P.A.; BEBOUT, D.G.; MOORE, C.H. (eds.) *Carbonate Depositional Environments*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 33. p. 346-462.
- JAMES, N. P., R. IM. GINSBURG, D. S. MARSZALEK, y P. W. CHOQUETTE, 1976. Facies and fabric specificity of early subsea cements in shallow Belize (British Honduras) reefs: *Jour. Sed. Petrology*, v. 46, p. 523-544.
- JAMES, N.P. & MACINTYRE, I.G. 1985. *Carbonate Depositional Environments*. Modern and Ancient. Part 1: REEFS Zonation, Depositional Facies, Diagenesis. *Colorado School of Mines Quaterly*. Vol.80 N.3, p. 1-43.
- JAMES, N.P., KENDALL, A.C. 1992. Introduction to carbonate and evaporite facies models. In: WALKERS R.G. & JAMES N.P. (eds.) *Facies models – response to sea level changes*. St. John's: Geological Association of Canada. p. 265-275.
- JARDIN, D., & WILSHART, J.W. 1987, Carbonate Reservoir Description. In: Tillman, R.W. and Weber, K.J. (eds.), *Reservoir Sedimentology*, SEPM special publication, Vol. 40, p.129-152.
- JOHNSON, J.H. 1961. Limestone building algae and algal limestones. *Colorado School of Mines*. Colorado. 297p.
- JONES, B., DESROCHERS, A. 1992. Shallow carbonate platforms. In: WALKERS R.G. & JAMES N.P. (eds.) *Facies models – response to sea level changes*. p. 277-303. St. John's: Geological Association of Canada
- JERVEY, M.T.1988, Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross C.A. and Van Wagoner, J.C. (Eds.) *Sea Level Changes – An Integrated Approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), Special Publication 42, p. 47-69.

- KAJANDER, E. O.; ÇİFTÇIOĞLU, N. 1998. Nanobacteria: An alternative mechanism for pathogenic intra- and extracellular calcification and stone formation: Proceedings of the National Academy of Sciences USA. v. 95, p. 8274-8279.
- KAZMIERCZAK, J.; COLEMAN, M.L.; GRUSZCZYNSKI, M.; KEMPE, S. 1996. Cyanobacterial key to the genesis of micrite and peloidal limestones in ancient seas. *Acta Palaeontologica Polonica*. v.41, n.4, p.319-338.
- LCV - PLUSPETROL. 2008. Petrography Green Sandstone. Reporte interno.
- LOUKS, R.G. & SARG, J.F. (Eds.) Carbonate sequence stratigraphy – recent developments and applications. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication, 57, p. 3-41.
- LUCIA, F. 2007. Carbonate Reservoir Characterization, University Station Box X. Austin, Texas 78713 USA.
- LA AGENCIA NACIONAL DEL PETRÓLEO, GAS NATURAL Y BIOCOMBUSTIBLES DE BRASIL (ANP), 2015. América Latina.
- MAGALHAES, AJ. 2015, High-resolution sequence stratigraphy in a Mesoproterozoic intracratonic sag basin, the Tombador Formation, Chapada Diamantina Basin, Brazil, Tesis de doctor, University of Alberta Canada.
- MACINTYRE, I.G.; REID, R.P. 1992. Comment on the origin of aragonite needle mud: a picture is worth a thousand words. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.62, n.6, p. 1095-1097.
- Mc CAULEY, A.D. 2013. Sequence stratigraphy, depositional history, and hydrocarbon potential of the Mancos shale, Uinta basin, Utah. Master of Science In Geology, Department of Geology and Geophysics The University of Utah.
- MACKENZIE, F. T.; PIGGOT, J. D. 1981. Tectonic controls of Phanerozoic sedimentary rock cycling. *Journal of Geological Society of London*, v. 138, p. 183- 196.
- MITCHUM, R.J. 1977, Glossary of seismic stratigraphy. In: Payton, C.E. (Ed.) *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*. AAPG Memoir 26, p. 205-212.

- MONGE, R. LEON, W. CHACON, N. 1996. Geología de los Cuadrángulos de Chuchurras, Ulcumayo, Oxapampa, Limbani y La Merced. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Boletín N° 78, Lima Perú.
- NAVARRO, W. 2014. Nuevas fronteras en la evaluación de reservorios no convencionales en el área de Camisea – Unidad Copacabana. VIII INGEPET (NRTE-RN-WN-03-N).
- NEUMANN, A.C. and L.S. LAND, 1975. Lime mud deposition and calcareous algae in the Bight of Abaco, Bahamas: a budget. *Journal of Sedimentary Petrology*. V. 45, p. 763-786.
- NOEL P.J. 2009, *Facies Models* 4, p. 1 – 577.
- PAWLEY, K. & WARREN, A. 2006. The Appendicular Skeleton Of Eryops Megacephalus Cope, 1877 from the Lower Permian of North America. *Journal of Paleontology*. 80, p.561-580.
- PETTIJOHN, F. J. 1957. *Sedimentary rocks*. 2.ed. New York: Harper Brothers, 718p.
- PETROBRAS, 2010, *Atlas de facies carbonáticas* Petrobras.
- PETROBRAS, 2012, *Relatório de curso de campo, PDRHE/2011 – "Carbonato Namíbia"*.
- PETROBRAS, 2012, *Relatório de curso de campo, PDRHE/2012 – "Carbonato Bahamas"*.
- PETTIJOHN, F. J. 1983. *Sedimentary rocks*. 3.ed. New York: Harper Brothers, 628p.
- POSAMENTIER, H.W., JERVEY, M.T., VAIL, P.R., 1988. Eustatic controls on clastic deposition I, conceptual framework. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C. (Eds.), *Sea-Level Changes: An Integrated Approach*. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ. 42, p. 109–124.
- POSAMENTIER, H.W. & ALLEN, G.P. 1999. Siliciclastic sequence stratigraphy: Concepts and applications. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Concepts in Sedimentology and Paleontology* No. 7, 204p.

- POSAMENTIER HW. & WALKER, RG. 2006. Facies Models Revisited. SEPM Society for Sedimentary Geology, Special Publications 84.
- POSTM, G. 1990. Depositional architecture and facies of river and fan deltas: a synthesis. In: COLELLA, A. & PRIOR, D.B. (eds). Coarse-grained deltas. International Association of Sedimentologists Special Publication 10, p.13-27.
- POZO, G. 2012. Análisis de Facies Sedimentarias y Estratigrafía de Secuencias De Rocas Pérmicas: Integración De Afloramientos Del Pongo De Mainique Con El Subsuelo, Subcuenca De Camisea, Cusco – Perú. XVI Congreso Nacional de Geología. Lima Perú.
- POZO, G. 2013. Sedimentary Facies and Depositional System Stratigraphic Units Ene Basin. Reporte Interno Pluspetrol de Rocas del Pérmico: Integración De Afloramientos Del Pongo De Mainique Con El Subsuelo, Subcuenca de Camisea Cusco – Perú. XVI Congreso Peruano de Geología, Lima – Perú.
- POZO G. CASTILLO E. COTRINA J. 2015. Aplicación de la Metodología Estratigrafía de Secuencias en Cuencas Transtensivas Cuenca Pisco. Guía de Curso.
- POZO G. ALCCA M, MÁRQUEZ S. 2017. Columna estratigráfica de los Grupos Ambo, Tarma y Copacabana. Informe interno Pluspetrol, Pongo de Mainique.
- RAJA GABAGLIA, G., RODRIGUES, E.B., MAGALHAES, A.J.C. & ARREGUI, C.D. 2006. Seminario de Campo en Cuenca Neuquina: método de análisis tectonoestratigráfico de alta resolución en sistemas depositacionales siliciclásticos del Jurásico Inferior a Medio. Guía de Campo, 27 p.
- RAJA GABAGLIA, G. TORRES K, POZO G. 2011. Metodología de Análisis Estratigráfico de Alta Resolución en Dominios Modificados Tectónicamente Cuenca Talara. Guía de Curso.
- RAJA GABAGLIA, G., 2011, Estratigrafía de Alta Resolución - un puente necesario entre la Sedimentología y la Estratigrafía tradicionales - prácticas y resultados. Petrobras, XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén.
- REMANE, A., SCHLIEPER, C. 1972. The biology of brackish waters. Die Binnengewasser 25. Wiley-Interscience, New York. E. Schweizerbart'sche Verlag, Stuttgart. VII, 372 p.

- READ, J. F. 1985: Carbonate platform models. American Association of Petroleum Geologists, v, 69, p. 1-21.
- RIDING, R. 1991. Calcareous Algae and Stromatolites. Springer-Verlag. 271p.
- RIDING, R. 2000. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial algal mats and biofilms. *Sedimentology*. v. 47, supplement 1, p. 179-214.
- RIDING, R.; LIANG, L. 2005. Geobiology of microbial carbonates: metazoan and seawater saturation state influences on secular trends during the Phanerozoic. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, v.219, p. 101-115.
- SALA, R. 1989. Evolución estratigráfica secuencial y tipos de plataformas de carbonatos del intervalo Oxfordiense-Berriasiense en las cordilleras ibérica oriental y costero catalana meridional. Universidad de Barcelona, España. V. 13, p. 121-157.
- SCHOLLE, P.A.; JAMES, N.P. 1995. Marine carbonates 1: models, seismic response, and the Quaternary of Florida/Bahamas. SEPM Photo CD-1. Society of Sedimentary Geology, Tulsa 652.
- SCHOLLE. P.A.; ULMER-SCHOLLE, D.A. 2003. A color guide to petrography of carbonate rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 77, 474p.
- SCHOLLE, P. A.; ULMER-SCHOLLE, D. A. A, 2003. color guide to petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis. Tulsa. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 77, 474 p.
- SCHLUMBERGER, 2001. Oilfield Review, v,13, Spring.
- SAMUELSBERG, T. 1999. Upper Carboniferous to Lower Permian transgressive - regressive sequences of central Spitsbergen, Arctic Norway. *Geological Journal*, v. 34, p. 393-411.
- SANDBERG, P. A. 1975. New interpretation of Great Salt Lake ooids and of ancient non-skeletal carbonate mineralogy. *Sedimentology*, v. 25, p. 673-702.

- SANDBERG, P. A. 1975. An oscillating trend in Phanerozoic non-skeletal carbonate mineralogy. *Nature*, v. 305, n.1, p. 19-22, September.
- SEYED, M.A. 2015. Sequence stratigraphy and platform to basin margin facies transition of the Lower Cretaceous Daryyan Formation (northeastern Arabian Plate, Zagros fold – thrust belt, Iran) *Bulletin of Geosciences, Czech Geological Survey, Prague*. v. 90. p. 145 – 172.
- SINGH, U. 1987. Ooids and cements from the Late Precambrian of the Flinders Ranges, South Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 57, p. 117-127.
- SLOSS, L.L., KRUMBEIN, W.C. AND DAPPLES, E.C. 1949. Integrated facies analysis. In: Longwell, C.R. (Ed.) *Sedimentary Facies in Geologic History*. Geological Society of America, Memoir 39, p. 91-124.
- SLOSS, L.L. 1963. Sequences in the cratonic interior of North America. *Geological Society of America Bulletin*, 74, p. 93-113.
- SCHOLLE, P.A. 1978. *A Color Guide to Carbonates* - Tulsa: American Association of Petroleum Geologists Memoir 27, p. 241.
- SCHLAGER, W. 1981, The paradox of drowned reefs and carbonate platforms: *Geological Society of America Bulletin*, v. 92, p. 197–211.
- SCHLAGER, W. 1992, Sedimentology and sequence stratigraphy of reefs and carbonate platforms: AAPG Continuing Education Course Note Series N°. 34, p. 71.
- SCHLAGER, W. 1993. Accommodation and supply e a dual control on stratigraphic sequences. *Sedimentary Geology*, v. 86, p. 111-136.
- SCHLAGER, W., 1999, Scaling of sedimentation rates and drowning of reefs and carbonate platforms: *Geology*, v. 27, p. 183–186.
- SCHLAGER, W. 2000., The future of applied sedimentology: *Journal of Sedimentary Research*, v. 70, p. 2–9.
- SCHLAGER, W. 2005. Carbonate Sedimentology and Sequence Stratigraphy. *Society for Sedimentary Geology*. p. 1–198.

- SCHLAGER, W. 2010. Ordered hierarchy versus scale invariance in sequence stratigraphy. *International Journal of Earth Sciences*, v, 99, p. S139 -S151.
- SPALLETI A; SCHWARZ E. 2010, Rocas Carbonáticas, Cátedra de Sedimentología, Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- STANLEY, S. M.; HARDIE, L. A. 1998. Secular oscillations in the carbonate mineralogy of reef-building and sediment-producing organisms driven by tectonically forced shifts in seawater chemistry. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, v. 144, p. 3-19.
- SAVINI, R.R. & RAJA GABAGLIA, G.P. 1997. Curso de Campo da Chapada Diamantina – Guías de Campo. Lençóis (BA). PETROBRAS. 15p.
- SPADINI, A.R. 1990, Occurrence of deep carbonate reservoirs: some considerations. *Boletín de Geociencias PETROBRAS*, V4, p. 405-412.
- TERRA, G.J.S. 1990. Facies, Modelo Depositional e Diagenese da Seqüência. Carbonática Albo-Cenomaniana (Fm. Ponta do Mel) da Bacia Potiguar. Tese de Mestrado - UFRJ, 153p.
- TERRA, G.J.S. 2001. Condicionantes da sedimentação carbonática marinha de águas quentes. Universidade Petrobras.
- TERRA, G.J.S. 2010. Classificação de rochas carbonáticas aplicável às bacias sedimentares brasileiras. *Boletim. Geociencias. Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 1, p. 9-29.
- TINKER, S.W. 2004. Integrated Reservoir Characterization of a Carbonate Ramp Reservoir, South Dagger Draw Field, New Mexico: Seismic Data Are Only Part of the Story. *AAPG Memoria* 81, p. 91-105.
- TUCKER, M. y WRIGHT, 1990, Carbonate Sedimentology, Publications Blackwell Scientific London.
- TUCKER, M. E. 1991. Sedimentary petrology an introduction to the origin of sedimentary rocks. New York: Wiley, 259 p.
- VASCONCELOS, C. McKENZIE, J.A. 1997. Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa

Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of Sedimentary Research*. V. 67, p. 378-390.

- VAIL, P.R., MITCHUM, R.M., JR. AND THOMPSON, S., III, 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: Payton, C.E. (Ed.) *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*. AAPG Memoir 26, p. 63-81.
- VAIL, P.R., AUDEMARD, F., BOWMAN, S.A., EISNER, P.N., PEREZ-CRUZ, C., 1991. The stratigraphic signatures of tectonism, eustasy and sedimentology — an overview. In: Einsele, G., Ricken, W., Seilacher, A. (Eds.), *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, New York, N.Y. p. 611–659.
- VAN WAGONER, J.C., MITCHUM, R.M., CAMPION K.M., RAHMANIAN, V.D., 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. *Am. Assoc. Pet. Geol. Methods Explor. Ser. 7*, 55 p.
- WILKINSON, B. H.; OWEN, R. M.; CARROLL, A. R. 1985. Submarine hydrothermal weathering, global eustasy, and carbonate polymorphism in Phanerozoic marine oolites. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 55, p. 171-183.
- WILSON, J.L. 1975. *Carbonate facies in geologic history*: Nueva York, Springer-Verlag, p.471.
- WILSON, G. 2003. Carbonate – Siliciclastic Sequences of the Pennsylvanian and Permian Copacabana Formation, Titicaca Group, Andes de Bolivia. College of Graduate Studies, University of Idaho.
- YOUNG, L. 1972. Carbonate Facies in Ordovician of Northern Arkansas, V 56, P. 68-80.
- VALDIVIA H. 2013. Geology of Pospapjali, Maquizapayco and Cacahuilo Creeks. Reporte interno Pluspetrol.
- VALDIVIA H. 2013. Geology of Manu Chico and Camisea Creeks. Reporte interno Pluspetrol.
- VARGAS, L. ROMERO, A. 1998. Geología de Los Cuadrángulos del Rio Pinquen y Chontachaca. INGEMMET.

ZECCHIN, M., CATUNEANU, O. 2013, High – resolution sequence stratigraphy: of clastic shelves: Units and bounding surfaces. v 39, p. 1-25.

ZECCHIN, M., CAFFAU, O. 2014, Sequence stratigraphy significance of tidal channel systems in shallow lagoon (Venice, Italy) s. v 24, p. 646-658.

ZECCHIN, M., CATUNEANU, O. 2015, High – resolution sequence stratigraphy: of clastic shelves III: Applications to reservoir geology. v 62, p. 1-25.

ZARATE, H. GALDOS, J. GELDRES, M. 1998. Geología de los Cuadrángulos de Sepahua, María, Unión, Quiriguetti, Camisea y Rio Cashpajali. INGEMMET.